

EINFLUSS DER PROZESSFÜHRUNG ZUR TROCKENMÜLLERISCHEN AUFARBEITUNG UND ZUR EXTRUSION AUSGEWÄHLTER ÄTHIOPISCHER SORGHUMSORTEN

Vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Ayele Gugsä Aragaw
aus Äthiopien

Von der Fakultät III: Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des Akademischen Grades

Doktor-Ingenieur
-Dr.-Ing.-

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Prof. Dr. F. Thiemig
Gutachter	Prof. Dr. B. Handreck
Gutachter	Prof. Dr. R. Schildbach

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 27. Juni 2001

Berlin 2001

D 83

Abstract

Ayele Gugsä Aragaw: 2001: Einfluss der Prozessführung zur trockenmüllerischen Aufarbeitung und zur Extrusion ausgewählter äthiopischer Sorghumsorten

Die Arbeit untersucht den Einfluss der Prozessführung auf das Schälen, auf das Vermahlen mit Walzenstuhl und Prallmühle sowie auf die Extrusion von drei unterschiedlichen Sorghumsorten. Zielstellung war vor allem das Erreichen niedriger Tannin- und Fettgehalte bei gleichzeitig hoher Ausbeute sowie hohen Stärke- und Proteingehalten der Produkte. Die Versuche wurden nach der Statistischen Versuchsplanung (BN-PLAN) durchgeführt, um mittels Mehrfachoptimierung Prozessparameter zu ermitteln, die es ermöglichen qualitativ gute Produkte bei maximaler Ausbeute herzustellen.

Durch das Schälen konnte der Tannin- und Fettgehalt der Sorghumkörner vermindert und dadurch die Qualität der Körner verbessert werden. Die Schälzeit war der entscheidende Einflussparameter. Für das Schälen sind sortenabhängige unterschiedliche Feuchtegehalte, Abstehtzeiten und Schälzeiten anzuwenden.

Die Prallzerkleinerung zeichnet sich im Vergleich zur Walzenstuhlzerkleinerung aufgrund einer höheren Zerkleinerungsintensität durch einen höheren Feinanteil im Mahlprodukt aus. Mit ihrer Steigerung erhöhte sich die Zerkleinerungsintensität und damit auch der Feingutanteil in den Zerkleinerungsprodukten. Um ein tannin-, fett- und mineralstoffarmes Endprodukt mit höherer Ausbeute zu erhalten, sind sortenabhängige Umfangsgeschwindigkeiten zu wählen.

Bei der Vermahlung mittels Walzenstuhl war der Mahlspalt der entscheidende Einflussparameter. Mit kleiner werdendem Mahlspalt konnte eine Zunahme der Ausbeute bei der Korngrößenklasse $< 710 \mu\text{m}$ festgestellt werden.

Bei der Extrusion stieg die spezifische mechanische Energieeinleitung mit steigender Drehzahl linear an. Diese Steigerung führte zur Steigerung der Produkttemperatur, die positiv auf die Extrudateigenschaften wirkte. Auch bei Extrusion sind sortenabhängige Prozessparameter für das Erreichen optimaler Produkteigenschaften anzuwenden.

Aus den Untersuchungen sind Prozessschemata für eine trockenmüllerische Verarbeitung des Sorghums erarbeitet worden.

Danksagung

Diese Arbeit wäre ohne zahlreiche Anregungen und Unterstützungen nicht zustande gekommen.

Herrn Prof. Dr. B. Handreck möchte ich für die Überlassung des Themas und die Betreuung der Arbeit danken. Ich danke Herrn Prof. Dr. R. Schildbach für die freundliche Übernahme des Korreferates. Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern des Fachgebiets Aufbereitungs- und Müllereitechnologie am Fachbereich für Lebensmittel- und Biotechnologie der Technischen Universität Berlin für die hervorragende Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank gilt Frau Ch. Senge und Frau B. C. Fischer für ihre Unterstützung während der Laboruntersuchungen und ihre Hilfe bezüglich der Formulierung in die deutsche Sprache.

Herrn Dr. J. Dörfer und Herrn L. Pötschke danke ich für die vielen intensiven Diskussionen und nützlichen Anregungen.

Herr Dr. Erhardt unterstützte mich bei den statistischen Auswertungen der Versuchsergebnisse, auch ihm gilt mein Dank.

Herrn A. Kutschbach, danke ich für die geleistete Hilfe bei der Durchführung der Extrusionsversuche.

Den Wissenschaftlern vom Institute of Agricultural Research in Äthiopien danke ich für die Überlassung des Sortenmaterials und für ihren wissenschaftlichen Rat. Weiterhin möchte ich dem Katholischen Akademischen Ausländer Dienst für die gewährte finanzielle Unterstützung meinen Dank aussprechen.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einführung.....	7
2.	Aufgabenstellung.....	11
3.	Sorghumanbau in Äthiopien.....	11
4.	Morphologie und Inhaltsstoffe des Sorghumkornes	14
4.1	Aufbau und Zusammensetzung des Sorghumkornes	14
4.2	Farbe der Körner	17
4.3	Kohlenhydrate	17
4.4	Proteine.....	18
4.5	Tannin und seine ernährungsphysiologische Wirkung.....	19
4.6	Lipide.....	20
4.7	Mineralstoffe	20
4.8	Vitamine	21
5.	Traditionelle Lebensmittel aus Sorghum	21
5.1	Gebackene Produkte.....	22
5.2	Breinahrung und thermisch aufgeschlossene Körner	22
5.3	Alkoholfreie Getränke	23
5.4	Alkoholische Getränke	23
6.	Stand des Wissens zur Verarbeitung von Sorghum.....	23
6.1	Schälen	23
6.2	Vermahlen	25
6.2.1	Trockenmahlung.....	25
6.2.2	Nassmahlung	29
6.2.3	Halbnassmahlung der Sorghumkörner	32
6.3	Stand der wissenschaftlichen Untersuchungen zur Sorghumextrusion.....	33
7.	Versuchsmaterial und Untersuchungsmethodik	35
7.1	Eigenschaften des Versuchsmaterials.....	36
7.1.1	Sorte AL70	36
7.1.2	Sorte Birmash.....	36
7.1.3	Sorte Seredo	37
7.2	Statistische Versuchsplanung	39
7.2.1	Zur Anwendung der Statistischen Versuchsplanung.....	39
7.2.2	Optimierung.....	39
7.3	Ausgewählte Einflussparameter für die Untersuchungen	40
7.3.1	Auswahl der variablen und konstanten Einflussgrößen	40
7.3.1.1	Variable Einflussgrößen	40

7.3.1.2	Konstante Einflussgrößen.....	42
7.4	Konditionieren des Versuchsmaterials	42
7.5	Schälversuche	43
7.6	Vermahlungsversuche	44
7.6.1	Walzenstuhlvermahlung	44
7.6.2	Prallvermahlung	44
7.7	Extrudieren	44
7.7.1	Vorbereitung des Versuchsmaterials.....	44
7.7.2	Extruderanlage.....	44
7.8	Analytische Bestimmungsmethoden der Inhaltsstoffe	45
7.8.1	Bestimmung des Tanningehaltes.....	45
7.8.2	Bestimmung des Rohproteingehaltes	47
7.8.3	Bestimmung des Stärkegehaltes	47
7.8.4	Bestimmung des Mineralstoffgehaltes	47
7.8.5	Bestimmung des Feuchteanteils	47
7.8.6	Bestimmung des Rohfettanteils.....	48
7.8.7	Bestimmung der spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME).....	48
7.8.8	Bestimmung des Expansionsindexes.....	48
7.8.9	Bestimmung des Volumens	49
7.8.10	Bestimmung des Sedimentvolumens.....	49
7.8.11	Bestimmung der Kaltwasserlöslichkeit	49
8.	Darstellung, Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse.....	50
8.1	Ergebnisse der Schälversuche	50
8.1.1	Darstellung der Ergebnisse.....	50
8.1.1.1	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Schälgrad	54
8.1.1.2	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt	56
8.1.1.3	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt	58
8.1.1.4	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt	60
8.1.1.5	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt	62
8.1.1.6	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt.....	64
8.1.1.7	Diskussion der Ergebnisse aus der Schälversuche	66
8.2	Mahlergebnisse der Prallzerkleinerung	68
8.2.1	Darstellung der Ergebnisse.....	68
8.2.1.1	Wirkung der Variablen am Optimum auf die Ausbeute.....	71
8.2.1.2	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt	74
8.2.1.3	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt	76
8.2.1.4	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt	78

8.2.1.5	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt.....	80
8.2.1.6	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt.....	82
8.2.1.7	Diskussion der Ergebnisse aus der Prallvermahlung.....	84
8.3	Ergebnisse der Walzenstuhlvermahlung	85
8.3.1	Darstellung der Ergebnisse.....	85
8.3.1.1	Wirkung der Variablen am Optimum auf die Ausbeute.....	90
8.3.1.2	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt	92
8.3.1.3	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt	94
8.3.1.4	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt	96
8.3.1.5	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt	98
8.3.1.6	Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt.....	100
8.3.1.7	Diskussion der Walzenvermahlung	102
8.4	Darstellung der Extrusionsversuche	105
8.4.1	Einfluss der Extrusionsparameter auf die spezifische mechanische Energieeinleitung (SME)	107
8.4.2	Einfluss der Extrusionsparameter auf die Produkttemperatur	108
8.4.3	Einfluss der Extrusionsparameter auf die morphologische Struktur der extrudierten Materialien.....	110
8.4.3.1	Expansion	110
8.4.3.2	Volumen	111
8.4.4	Einfluss der Extrusionsparameter auf die funktionellen Eigenschaften der Extrudate	112
8.4.4.1	Sedimentvolumen.....	112
8.4.4.2	Kaltwasserlöslichkeit.....	113
8.4.5	Diskussion der Extrusionsversuche	114
9.	Gesamtdiskussion und Schlussfolgerung für die Verarbeitung der untersuchten Sorghumsorten.....	115
9.1.	Schälen	116
9.2.	Prallvermahlung	119
9.3.	Walzenstuhlvermahlung	121
9.4.	Extrusion	128
10.	Zusammenfassung	129
11.	Literaturverzeichnis	132
12.	Tabellenverzeichnis	150
13.	Abbildungsverzeichnis	152
14.	Anlagenverzeichnis.....	155
15.	Anlagen.....	159

1. Einführung

Sorghum ist eine einzigartige Getreideart hinsichtlich ihrer Anpassung an das trockene Klima. In den vielen Trockengebieten der Welt wird Sorghum als Nahrungsgetreide angebaut. Im Jahre 1996 stand Sorghum mit 69,1 Mill. Tonnen an 5. Stelle der Weltgetreideproduktion. In der Welt wird Sorghum auf mehr als 47 Millionen Hektar angebaut, davon 87 % in Entwicklungsländern. In Afrika ist es die zweitwichtigste Getreideart nach Mais. Auch in Asien, vor allem in China und Indien, ist es ein wichtiges Getreide. Sorghumhirsen sind gemeinsam mit Millethirsen die trockenresistentesten Getreidearten in der Welt, die bis in die Sahel-Zone und deren Savannen bis hin zu den Halbwüsten ohne Bewässerung angebaut werden. Dort sind sie das lebensrettende Getreide überhaupt. In Trockenzonen und Halbwüsten, wo andere Getreidearten nicht wachsen können, hat sich Sorghum als Hauptgetreide durchgesetzt, daher wird es in diesen Ländern auch als „CASH CROP“ angebaut. Die Hauptanbaugebiete sind Asien (25 % der Weltproduktion), Afrika (55 %) und die USA (29 %) /16, 33, 37/ (siehe Tabelle 1 und 2).

Tabelle 1 Statistik für Sorghum Produktion 1996 /33/

Kontinent/ Land	Anbauflächen (in 1000 ha)	Ertrag (kg/ha)	Gesamtproduktion (in 1000 MT)
Afrika	24.243	843	20.434
Nigeria	6.196	1.144	7.084
Sudan	6.289	634	3.987
Äthiopien	1.760	1.125	1.980
Nord- und Mittelamerika	6.794	3.780	25.678
USA	4.816	4.235	20.397
Mexiko	1.574	3.061	4.817
Südamerika	1.164	3.034	3.531
Argentinien	550	3.876	2.132
Asien	14.041	1.229	17.252
Indien	11.700	897	10.500
China	1.222	4.726	5.778
Europa	148	4.234	630
Ozeanien	770	2.067	1.593
Australien	770	2.067	1.592
Welt	47.204	1.465	69.147
Entwicklungs- länder	41.252	1.116	46.018
Entwickelte Länder	5.953	3.885	23.128

Tabelle 2 Statistik für Millet Produktion 1996 /33/

Kontinent/ Land	Anbauflächen (in 1000 ha)	Ertrag (kg/ha)	Gesamtproduktion (in 1000 MT)
Afrika	18.885	843	12.599
Nigeria	5.356	106	5,681
Sudan	1.549	271	420
Äthiopien	440	809	360
Burkina Faso	1.227	661	811
Mali	1.286	595	765
Niger	4.800	382	1.832
Senegal	972	619	601
USA	120	1.500	180
Australien	23	1.298	30
Russische Föderation	700	714	500
Argentinien	45	4.044	47
Asien	15.943	958	12.272
Indien	13,500	778	10.500
China	1,400	2.857	4.001
Europa	13	1.356	18
Welt	36.123	797	28.791
Entwicklungs- länder	34.852	801	27.905
Entwickelte Länder	1271	698	887

Die Nutzung von Sorghum in den entwickelten Ländern führte zu radikalen Veränderungen in der Sorghumforschung. Durch den Einsatz moderner landwirtschaftlicher Maschinen, verbesserter Züchtungsmethoden und Düngeverfahren konnte beispielweise in den USA der Hektarertrag im Vergleich zu Entwicklungsländern, in denen Sorghum als Nahrungsmittel angebaut wird, verdreifacht werden./26, 33/

In den meisten asiatischen und afrikanischen Ländern ist Sorghum ein Hauptenergielieferant für die Ernährung. /15, 17, 26, 74 /. In den Industriestaaten wird Sorghum hauptsächlich als Futtergetreide eingesetzt. Der Sorghumverbrauch als Futtermittel stieg in den letzten 25 Jahren von 15 Millionen Tonnen auf 40 Millionen Tonnen. /26, 59/

Seine Nutzung für die menschliche Ernährung ist in den westlichen Ländern sehr begrenzt, gilt aber zur Zeit als alternative Getreideart. In Lateinamerika und Afrika wird Sorghumgrieß zur Herstellung von Bieren eingesetzt. Sorghumtortilla wird in vielen Teilen Mexikos und Mittelamerikas verzehrt./ 39, 57, 61/

Sorghummehl und -grieß werden für Brot und graupenähnliche Produkte verwendet. Sorghumbrei, hergestellt aus gekochtem Sorghumgrieß, ist die Hauptnahrung in vielen Ländern Afrikas. /14,17, 65, 87, 96, 110, 112, 141/ Sorghum wird in Nahrungs- und Futtergetreide, Süß- und Weidelandsorghum eingeteilt. Getreidesorghum wird zu den Kurzpflanzen und daher zu den mechanisch gut zu bearbeitenden Arten gerechnet, während Futtersorghum zu den langstrohigen und damit an Gesamtmasse zu den ertragreichen Sorten gehört. Sorghum wird als Nahrungsgetreide sowie auch als Futterpflanze angebaut. Wachsartiges Sorghum weist Stärke mit 100% Amylopektin auf und hat damit eine einzigartige Bedeutung für die industrielle Nutzung zur Stärkegewinnung und für verbesserte ernährungsphysiologische Eigenschaften.

Süsssorghum produziert einen hohen Anteil löslicher Kohlenhydrate im Stengel, die sich zu Sirup und Zucker verarbeiten lassen oder zur Gewinnung von Alkohol eingesetzt werden können. Grasartiges Sorghum wird als Weide, Silage oder Heu genutzt. Die trockenen Wurzeln und Halme von Langsorghum werden in Afrika und Indien als Brenn- und Baumaterial verwertet./9, 26, 71, 116/

Angesichts seiner bedeutenden Rolle für die menschliche Ernährung wurden über Sorghum umfangreiche Forschungen durchgeführt. Insbesondere wurde der Einsatz in der Backwarenindustrie in Indien, Ägypten, Mexiko, USA und Lateinamerika untersucht. Dabei wurde Sorghummehl als Grund- oder Ersatzrohstoff eingesetzt. Seine Verwendung in der Teigwarenindustrie als teilweiser Ersatz für Weizendunst bzw. -grieß war auch ein Teil der wissenschaftlichen Forschung dieser Länder. /14, 61, 74, 87/

Produkte aus Sorghumgrieß oder -mehl werden von den Verbrauchern akzeptiert, verlangen kaum Änderungen in den Eßgewohnheiten, verursachen niedrigere Produktionskosten und verbessern wesentlich die Ernährungssituation (durch gezielten Einsatz von Zusatzstoffen, Mineralien und Vitaminen). Maschinelle Veränderungen bei der Verarbeitung sind ebenfalls nicht erforderlich. Angesichts der bedrohlichen Ernährungssituation in der Welt, insbesondere in den Entwicklungsländern, und steigender Kosten für Nahrungsmittelrohstoffe gewinnen Forschungsarbeiten über den Einsatz oder die Nutzung von einheimischen Rohstoffen in diesem Fall von Sorghum für die industrielle Lebensmittelproduktion zunehmend an Bedeutung. Seit den siebziger Jahren wurde mit Erfolg im Auftrag der FAO der Einsatz von Sorghum in der Backwarenindustrie erforscht. In Mexiko und anderen lateinamerikanischen Ländern wurde Sorghum auf seine Eignung zur Herstellung von Tortilla

umfangreich untersucht und eingesetzt. In Nigeria wird seine Eignung für die industrielle Bierherstellung (als Malz und auch als Grieß-Rohfrucht) studiert und eingesetzt. In Indien, Ägypten, Sudan und Äthiopien wird sein Einsatz in der traditionellen, aber auch in der modernen Lebensmittelherstellung untersucht. In Italien wurde Sorghum in der Teigwarenindustrie als Haupt- und Ersatzrohstoff eingesetzt. /14, 61, 74, 87,94, 96, 99,106, 110, 128, 137, 141/

Zur Herstellung neuer Produkte aus Sorghumkörnern wurde in den letzten Jahren der Einsatz verschiedener Technologien wie Perlen, Flocken, Extrudieren, Puffen usw. erprobt. Diese Forschungen für die breite Nutzung des Sorghumkornes müssen in Abhängigkeit von der Kornqualität und den Verarbeitungsmöglichkeiten, wie Schäl- und Vermahlungstechnologie fortgesetzt werden. Es sind einige Methoden für die Feststellung der Kornhärte, Glasigkeit und Mehlausbeute des Sorghumkornes vorhanden. Trotzdem ist es notwendig, Standardmethoden und Laborgeräte zur Untersuchung von Sorghumkörnern und deren Produkte festzulegen, um eine Übereinstimmung zu erreichen und zu einer leichten Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Autoren zu gelangen. In den letzten Jahren konnte ein enormer Fortschritt bezüglich der Charakterisierung der Kornstruktur und Chemie realisiert werden. In den nächsten Jahren muss den Getreidezüchtern bei der Auswahl der Sorten mit besseren Mehleigenschaften und Lebensmittelqualitäten weiterhin geholfen werden.

Die technologischen Fragen, welche bezogen auf die Verarbeitung zu berücksichtigen sind, sind folgende:

Welche einfachen und billigen Untersuchungsmethoden sowie kürzeren Vermahlungsstufen können für die Verarbeitung von Sorghumkörnern mit dem Ziel der besseren Mahl- und Kochqualität, aber auch für die Sorghumforscher und Züchter entwickelt werden?

In der Literatur wird öfter auf die Bedeutung des Schälens für das Erzielen einer hohen Mehqualität durch Reduzierung des Tannin- und des Fettgehaltes hingewiesen. Es stellt sich die Frage, ob Schälmaschinen unbedingt für die müllerische Aufbereitung des Sorghums notwendig sind. /5, 22, 26, 59/

Sind Schälmaschine und Walzenstuhl gleich effizient für das Erreichen der Qualitätskriterien z. B. für Biskuits, Pasta, Brot, Couscous und Extrudaten? Diese Fragen sind zu beantworten und Vorschläge zu ihrer Lösung zu unterbreiten.

2. Aufgabenstellung

Die Sorghumsorten Seredo, AL70 und Birmash sind Neuzüchtungen im Rahmen des äthiopischen Züchtungsprogramms. In Abstimmung mit den Züchtern sollen die Verarbeitungseigenschaften dieser Sorten bei der trockenen Verarbeitung wie Schälen, Prall- und Walzenstuhlvermahlung, untersucht werden. Des weiteren ist zu untersuchen, wie sich diese neuen Sorten für die Herstellung akzeptabler Extrudate eignen. Dabei ist der Tanningehalt in den Mahlprodukten und Extrudaten beträchtlich zu verringern. Außerdem ist zu untersuchen, wie sich durch diese Verarbeitungsprozesse die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der Erzeugnisse (Mahlprodukte und geschälte Körner) verändert. Dazu ist eine optimale Trennung von Schale und Mehlkörper Bedingung, die durch Variation der Prozessparameter Feuchte, Abstehtzeit, Schälzeit, Prallgeschwindigkeit und Mahlpalt erreicht wird. Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Einsatz der Schälmaschine und eine vergleichende Zerkleinerung zwischen dem herkömmlichen Walzenstuhl und der intensiven Prallzerkleinerung durchzuführen. Auf Grund der Bildung toxischer Stoffe während längerer Lagerzeiten bei höherem Feuchtegehalt unter dem in den Sorghum verarbeitenden Ländern herrschendem Klima sowie wegen des Wassermangels in einigen Gebieten werden die Versuche möglichst mit niedrigen Feuchten und kurzen Abstehtzeiten gefahren. Nach der müllerischen Aufarbeitung sind die inhaltsstofflichen Parameter und die funktionellen Eigenschaften der Rohstoffe zu ermitteln. Anschließend erfolgt die Durchführung der Extrusionsversuche der Sorghumkörner. Hierbei sollen die Extrusionsparameter (Temperatur, Druck, Zeit) auf die physikalischen und stofflichen Eigenschaften der zu erzielenden Extrudate untersucht werden. Anhand der ermittelten Messwerte soll für jede Sorte jeweils ein optimaler Verarbeitungsparameter vorgeschlagen werden. Schließlich soll ein sortenabhängiges Prozessschema entwickelt werden.

3. Sorghumanbau in Äthiopien

Sorghum ist eines der traditionellen Nahrungsmittel in Äthiopien. Sein Anteil an der gesamten Getreideproduktion beträgt 16-20 Prozent. Nach Teff, Gerste, Weizen und Mais steht Sorghum an fünfter Stelle der Getreideproduktion. Sorghum wächst in allen Höhenlagen des Landes. Es ist aber auch eine besondere Pflanze für die niedriger liegenden Gebieten, wo Dürre und Trockenheit

herrschen. Die Pflanzen sind zwei bis fünf Meter hoch mit unterschiedlichen Rispenformen. Die Korn- und Spelzenfarben variieren von weiß bis fast schwarz. Jedes Jahr wird Sorghum auf ca. 1 Million Hektar angebaut und etwa 1,2 Millionen Tonnen werden geerntet. Obwohl der nationale durchschnittliche Ertrag 1,2 t/ha beträgt, zeigen Ergebnisse aus Versuchen, dass etwa 3-7 t/ha produziert werden können. Die Gründe für die niedrigen durchschnittlichen Ertragsmengen werden der Dürre, Striga, Vögeln und Krankheiten, aber auch dem Fehlen verbesserter Produktionstechnologien zugeschrieben. /9, 54/

Die Hauptanbaugebiete von Sorghum sind Harar, Shoa, Wollo, Gonder und Tigray. Hier wird auf 87 % der landwirtschaftlichen Flächen Sorghum angebaut.

Bereits in den fünfziger Jahren wurde in Äthiopien ein Programm gestartet, das „Sorghum Improvement Programm“, um diese bedeutsame Getreideart zu erforschen und seine Verarbeitung zu koordinieren.

Die Aufgabe dieses Programmes bestand in der Entwicklung von:

- Züchtung und Selektion von Sorten mit hohen und stabilen Ertragsleistungen, insbesondere für trockene Gebiete
- Züchtung und Selektion von Sorten mit Insekten- und Krankheitsresistenz
- Züchtung und Selektion von guten Kornqualitäten und besserer technologischer Verarbeitbarkeit
- Entwicklung von Schädlingsmanagementsystemen.

Auf der Grundlage dieses Programms wurde in den sechziger Jahren genetisches Material gesammelt. Über 8000 Sorten von Sorghum sind aus verschiedenen Teilen des Landes zusammengetragen worden. Diese wurden nach ihren agronomischen und taxonomischen Eigenschaften geprüft. Der größte Teil dieser Sammlung ist nach Sorten gegliedert und wird im Agricultural Collage of Alemmaya aufbewahrt. Es wurde eine Klassifizierung dieser äthiopischen Sorghumsorten vorgenommen. Später wurde auch in Debrezeit und Alemmaya eine Vorselektion der aus fast allen Provinzen zusammengetragenen Sorghumsorten und -formen durchgeführt. Es fanden auch Vergleichsprüfungen mit US-Sorten statt. Eine im Jahre 1963 in Debrezeit durchgeführte Sortenprüfung zeigte bereits die gute Ertragsleistung von äthiopischen Sorghumsorten. /17, 18, 54/

Aufgrund verschiedener gesellschaftlicher sowie produktionstechnischer Probleme, wie Brand im Hochland, Blattkrankheiten und Schimmel im Hoch- und Mittelland, Striga in den mittleren und Tieflandzonen, Dürre und Halmböhrer in den

Tieflandzonen, liegt die nationale Ertragsleistung bei etwa 1,2 t/ha. Die Sorghumanbauggebiete werden in vier Zonen eingeteilt (s. Tabelle 3):

Tabelle 3: Sorghumanbauzonen /54/

Zonen	Höhe (NN)	Wachstumsdauer (d)
Hochland	> 1900	170-200
Mittelland	1600-1900	150-180
Tiefland	<1600	110-130
Trockenes Tiefland	<1600	85-110

Nach mehreren Jahren Feldversuchen wurden 22 Sorten für den weiteren Anbau zugelassen. Davon sind sieben Sorten aus dem Sorghumverbesserungsprogramm sehr empfohlen worden. Sie sind Gegenstand dieser Forschungsarbeit.

Diese sieben Sorten lassen sich nach folgenden Charakteristika gliedern.

(s. Tabelle 4) /54/

Tabelle 4: Charakteristik der verbesserten Sorghumsorten /54/

Name	Höhenlage (NN)	Niederschlag (mm)	Wachstumsdauer (d)	Pflanzenlänge (cm)	Farbe
AL70	>1900	870-900	120-130	250-384	weiß
ETS 2752	>1900	870-900	130-140	234-285	weiß
Birmash	1600-1900	900-1202	92-114	131-173	rot
Gambela	<1600	500-800	80-95	150-200	weiß
Dinkmash	<1600	500-800	63-90	103-160	weiß
76TI#23	<1600	500-800	60-70	120-140	weiß
Seredo	<1600	500-800	65-85	110-140	braun

Sorghumkorn wird in Äthiopien neben der Verwendung als Nahrungsmittel auch zur Getränkeherstellung und als Kindernahrung, die Stengel als Brennstoff, Baumaterial und Futtermittel verwendet. /5, 16, 46/

Die Nutzung der Sorghumsorten ist farbabhängig. Die hellen Sorten werden zur Herstellung von Brot und Injera (aus Mehlen hergestelltes landestypisches Fladenbrot) genutzt, die dunklen Sorten zur Herstellung alkoholischer Getränke.

4. Morphologie und Inhaltsstoffe des Sorghumkornes

4.1 Aufbau und Zusammensetzung des Sorghumkornes

Die Hauptbestandteile des Sorghumkorns sind Pericarp, Endosperm und Keimling. Es gibt vier Schichten des Pericaps. Die äußere Schicht des Pericaps wird in Epidermis (häufig pigmentiert) und Hypodermis unterteilt. Die mittlere Schicht des Pericaps weist einen dünnen und durchsichtig bis dichteren Aufbau auf und gibt dem Korn ein kreidiges Aussehen. Das Endocarp, das aus engen und langen Zellen besteht, ist die innere Schicht des Pericaps. Sie ist maßgebend für die Entfernung des Pericaps vom Rest des Samenkeimes während des Mahlprozesses. Die Testa, welche vorhanden oder nicht vorhanden sein kann, liegt zwischen Pericarp und Endosperm. Sie ist die tanninhaltige Schicht und deshalb entscheidend für den ernährungsphysiologischen Charakter des Kornes. Das Endosperm, allgemein körnig im äußeren Bereich und mehlig im Inneren, bildet den inneren Kern eines Sorghumsamens. In den äußeren Endospermschichten sind die Stärkekörner fest in eine Proteinmatrix eingebettet und schwierig zu trennen (Abb. 1). Der Proteingehalt ist in den mehligem Endospermteilen niedrig. Die Stärke kann relativ einfach aus dem mehligem Endosperm gewonnen werden. Der Keim ist an der Seite des Kornes sichtbar und weist einen hohen Ölgehalt auf /44, 71, 88, 116, 129/. Tabellen 6, 7, und 8 zeigen die chemische Zusammensetzung, morphologische Eigenschaften von Sorghum und Vergleiche mit anderen Getreidearten.

Tabelle 5: Morphologische Eigenschaften von Sorghum / 26,71/

Eigenschaft	Wert	Einheit
Kornlänge	2,6-5,8	mm
Kornbreite	2,4-5,6	mm
Korndicke	2,0-5,0	mm
Kornvolumen	50-58	mm ³
TKM	20-28	g
Korndichte	1,2-1,4	g/cm ³
Schalenanteil	4,3-7,9	%
Keimlingsanteil	7,8-12,1	%
Mehlkörperanteil	81-85	%

Die Zusammensetzung des Kornes variiert infolge von genetischen und Umwelteinflüssen. Der Einsatz von Stickstoffdüngern steigert den Proteingehalt und vermindert dadurch den Gehalt an Stärke.

Tabelle 6: chemische Zusammensetzung des Sorghumkornes /26/

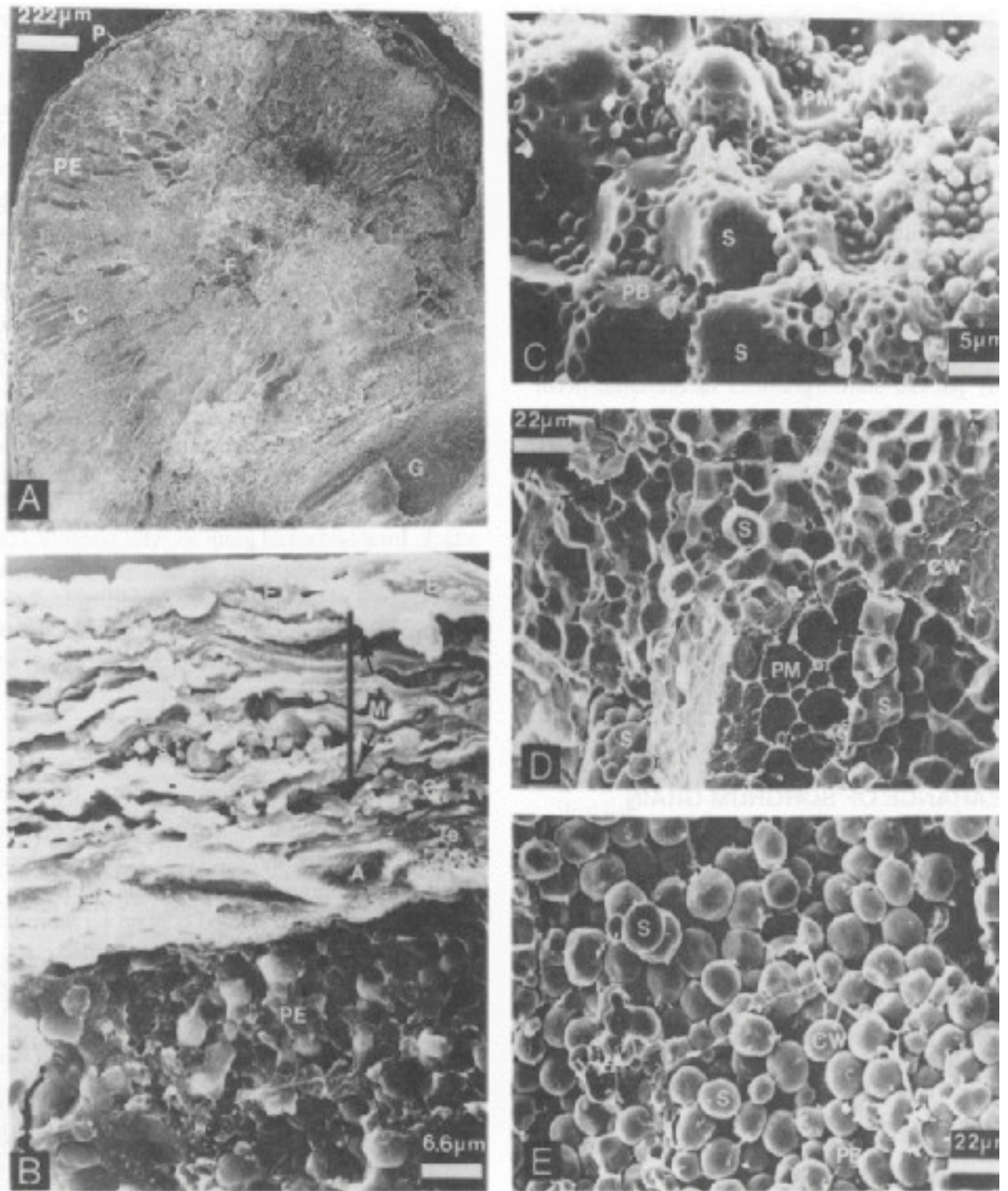
Inhaltsstoff	Wert in %	Mittelwert in %
Protein	7,3-15,6	12,3
Kohlenhydrate	55,6-75,6	73,8
Mineralstoffgehalt	1,1-4,5	1,6
Rohfaser	1,2-6,6	2,7
Fett	0,5-5,2	3,6

Tabelle 7: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Getreidearten
/50, 65/

Getreideart	Stärkegehalt in %	Rohfettgehalt in %	Rohproteingehalt in %	Mineralstoffgehalt in %
Weizen	59,2	2,2	13,5	1,9
Reis	70	1,2	6,5	1,2
Mais	62,6	5,3	9,6	1,8
Sorghum	55	3,6	12,3	1,6
Gerste	52	2,9	14,3	4,0
Hafer	40	6,2	14,3	4,0
Roggen	52,4	1,9	12,5	2,2

Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung von Sorghumkomponenten (i. Tr.).
(Nach Taylor & Schussler 1986)

Komponente	Ganzkorn in %	Endosperm in %	Keimling in %	Pericap in %
Protein	12,33	10	1,83	0,5
Fett	3,65	0,6	2,7	0,35
Mineralstoff	1,68	0,4	1,10	0,18
Kohlenhydrate	73,80	69,67	1,33	2,80



(A) Querschnitt (B) Pericap (C) Rand- Endosperm (D) körniges Endosperm (E) mehliges Endosperm. P= Pericap PE= äußeres Endosperm C = körniges Endosperm F = mehliges Endosperm G = Keimling E = Epicarp M = mesocarp CC = kreuz Zelle T = tube Zells Te = Testa A = Aleurone S = Stärkegranul PB = Proteinkörper PM = Proteinmatrix Cw = Zellwand

Abbildung 1: Innere Struktur des Sorghumkornes /26/

4.2 Farbe der Körner

Mehrere aufeinander einwirkende Faktoren beeinflussen die Farbe und das Aussehen des Sorghumkornes. Die Genetik, die Pericapstärke, die Präsenz von Pigmenten in Testa und Endosperm und die Spelzfarbe sind die genetischen Hauptfaktoren, die das Aussehen des Kornes beeinflussen. Das Kornaussehen wird auch von Umweltfaktoren, wie z. B. Insektenschäden und Schimmelpilzbefall beeinträchtigt. Die Pericapfarbe wird von R- und Y-Genen bestimmt. Die Kombination dieser Gene ergibt z. B. folgende Farben: R-YY oder RYYR weiß, RYYR zitronengelb, R-Y rot. Kornfarbe und Aussehen werden auch von der Testapräsenz und dem Zustand der Verbreitung des Genes beeinflusst. /26, 28/

4.3 Kohlenhydrate

Kohlenhydrate bilden wie bei allen Getreidearten den größten Anteil der inhaltstofflichen Zusammensetzung. Der Hauptanteil ist Stärke mit etwa 60 % - 80 %. Sie besitzt einen normalen nicht wachsartigen Kern und ein einfaches Granulan, das in eine Proteinmatrix eingebettet wird. Die Stärke im normalen Sorghum besteht zu 25 % aus Amylose und zu 75 % aus Amylopektin, wobei die Stärken der wachsartigen Sorten mit Stärke aus 100 % Amylopektin bestehen. Der Gesamtzuckergehalt variiert gemäß der Kornentwicklungsstadien. Saccharose, Glucose und Fructose sind die bedeutendsten löslichen Zucker, die sich im ausgereiften Korn befinden. Maltose ist ein geringfügiger Bestandteil der löslichen Zuckerfraktionen. Süße Sorghumsorten weisen ungefähr zweimal so viele Zucker wie normale Sorghumsorten auf. Die bedeutende Pentosanfraktion von Sorghum ist wasserlöslich. Das gesamte Korn besitzt 0,9 % wasserlösliche und 0,42 % alkalilösliche Pentosane. Die meisten Sorghumpentosane sind im Pericap zu finden. Pentosane, die sich in dem Pericap befinden, bestehen fast völlig aus der alkalilöslichen Fraktion. Der Kohlenhydratgehalt der Pentosane variiert von 68 % bis zu 85 %. Glucose und Arabinose sind die Kohlenhydrate, die in größeren Mengen gefunden wurden. Die meisten der unlöslichen Rohfaseranteile kommen in dem Pericap und den Endospermzellwänden vor. Die Rohfaser setzt sich hauptsächlich aus Zellulose, Hemizellulose und kleinen Mengen von Lignin zusammen. /24, 39, 70, 86, 91/

4.4 Proteine

Nach dem Löslichkeitsverhalten kann das Sorghumprotein analog zu anderen Getreideproteinen in mehrere Fraktionen aufgeteilt werden.

Die in der Literatur zu findenden Proteinangaben liegen weiter auseinander als bei anderen Getreidearten (23, 25, 26, 52, 56). Das liegt an der Sortenvielfalt und den Artenunterschieden, aber auch an dem Anbauort der Sorghumpflanze. Der Proteingehalt wird von einer Reihe Faktoren wie die Dauer der Vegetationszeit, der Korngröße und der Lufttemperatur beeinflusst. Der Proteingehalt von Sorghum ist höher als von Reis und Mais, er entspricht annähernd dem des Weizens (s. Tab. 7). Der Stickstoffgehalt des Sorghumkornes wird wie bei den anderen Getreidearten positiv durch die Stickstoffdüngung beeinflusst. Der Ernährungswert eines Proteins hängt hauptsächlich von seinem Gehalt an essentiellen Aminosäuren ab.

Die Zunahme des Proteingehaltes durch Stickstoffdüngung ist mit einer Minderung der Proteinqualität verbunden. Wird die Stickstoffdüngung erhöht, steigt der Gehalt an Protein, der prozentuale Anteil der essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin, Cystin, Threonin und Tryptophan nimmt ab, während der Anteil an Isoleucin, Leucin, Phenylalanin und Glutamin zunimmt. Die Prolamine machen den höchsten Anteil der Proteinfractionen aus und umfassen etwa 50 % der Proteine. Sie sind hydrophob, reich an Prolin, Asparaginsäure und Glutaminsäure und beinhalten kein Lysin. Gluteline sind die zweite bedeutende Proteinfraction und die am schwierigsten zu extrahierende. Gluteline sind Proteine mit hohem Molekulargewicht, die die Struktur der Endosperm- Proteinmatrix bilden. Albumine sind wasserlösliche und Globuline in Salzlösungen lösliche Proteine. Diese Fraktionen kommen überwiegend in der Aleurenschicht sowie im Keimling vor und haben einen hohen Anteil an Lysin. Der Lysingehalt in 100 g Sorghum stellt etwa 45 % des von der FAO/WHO empfohlenen optimalen Gesamtanteils (5,44 g/ 100 g Protein) für die menschliche Ernährung dar. Es befinden sich etwa 80 % des Proteins im Endosperm, 16 % im Keimling und 3 % im Pericarp. Studien haben gezeigt, dass Sorghumprotein weniger verdaulich ist als das Protein anderer Getreidearten. Die Anwesenheit von Tannin in Sorghumkörnern hat eine negative Auswirkung auf die Proteinverdaulichkeit. Die Verdaulichkeit von Sorghumproteinen kann durch Kochen, Fermentieren, Keimen und müllerische Verarbeitung positiv beeinflusst werden. /20, 25, 42, 47, 76, 98/

Tabelle 9: Angaben über die Proteinfraction in den Sorghumkörnern /129/

	Albumine in %	Globuline in %	Prolamine in %	Gluteline in %
Sorghum I*	5,3 2,7-9,0	14,8 12,9-16,3	33,2 27,0-43,1	32,8 26,2-39,5
Sorghum II*	8,0 6,9-9,6	13,4 12,0-14,8	31,2 24,2-36,9	30,5 28,3-31,8
Sorghum III*	10,2 8,8-11,5	9,3 7,1-10,7	28,3 23,2-34,9	31,9 27,8-41,8

* Angaben von verschiedenen Autoren

4.5 Tannin und seine ernährungsphysiologische Wirkung

Tannine sind eine Gruppe hochmolekularer Polyphenole, die in der Testa vorkommen. Sorghumkörner beinhalten Phenole, die die Farbe des Korns und seine Ernährungsqualität beeinflussen. Die Phenole können aufgrund ihrer Zusammensetzung in die Gruppen Phenolsäuren, Flavonoide und Tannine eingeteilt werden.

Alle Sorghumkörner besitzen Phenolsäuren und Flavonoide. Nur einige Sorghumsorten besitzen Tannin. Tannin schützt das Korn gegen Vernichtung durch Insekten, Vögel und Mikroorganismen. Sorghumsorten mit einem hohen Tanningehalt werden in vielen Teilen in der Welt kultiviert. Zusätzlich ist die Fröhhkornreife in Rispen bei tanninhaltigem Sorghum sehr niedrig. Leider werden diese agronomischen Vorteile durch Nachteile des ernährungsphysiologischen Wertes des Kernes begleitet. Der hauptsächliche negative Ernährungseffekt ist die Hemmung des Stoffwechsels verdauter und absorbierter Nährstoffe insbesondere des Proteins. Um die negativen Wirkungen auf den Ernährungswert des Sorghums zu minimieren, müssen Pericarp und Testa entfernt werden. Durch Bearbeitung mit Mühlen und Mörsern kann man die vollständige Entfernung des Pericaps erreichen. Das ist aber mit einem höheren Verlust an Endospermteilen verbunden, was wiederum einen Verlust an Stärke und Proteinen zur Folge hat. Traditionell wird die negative Wirkung durch Behandlung mit Holzasche und Mälzen (Auswuchs) verbessert. Die toxische Wirkung wird durch Behandlung mit Basen z. B. Natriumhydroxidlösung vermindert. Die Anwesenheit von Tannin verursacht in Sorghumerzeugnissen einen schlechten Geschmack. Das führt auch zur Minderung der Futteraufnahme der Tiere. Ein Tanningehalt im Korn größer als

1 % mindert durch Bindung einiger Proteinfractionen die Proteinverfügbarkeit, die Verdaulichkeit und hemmt die Enzymwirkung. Die Fermentierung von Sorghum steigert den ernährungsphysiologischen Wert der Lebensmittel, da die Lysin- und Methioningehalte steigen. Das kombinierte Keimen und Gären verbessert die Verdaulichkeit des Kornes und erhöht den Inhalt von Vitaminen in den vorbereiteten Lebensmitteln. Die anfänglichen enzymatischen Veränderungen, die sich aus der Keimung ableiten, resultieren aus der Zunahme und dem Transfer von B-Vitaminen. Zur gleichen Zeit werden die höheren Kohlenhydrate enzymatisch gespalten und abgebaut. Als Ergebnis dieser Veränderungen ist es möglich, eine nahrhafte Speise zu produzieren. Fermentierte Teige sowie Teige aus Auswuchsgetreide sind weniger klebrig als jene, die aus unfermentiertem Teig hergestellt werden /1, 56, 66, 95, 115/.

4.6 Lipide

Der Rohfettgehalt von Sorghum liegt etwa 3 % höher als der von Weizen und Reis, ist aber etwas niedriger im Vergleich zu Mais. Der Keim und die Aleurenschicht sind reich an Lipiden, wobei die Keimlinge etwa 80 % des gesamten Ölgehaltes aufweisen. Der fettigsaure Anteil im Sorghumöl ist dem des Maisöls ähnlich, jedoch mit höheren Konzentrationen an Linolsäure (49 %), Oleinsäure (31 %) und Palmitinsäure (14 %). Zusätzlich beinhaltet das Öl (2,7 %) Linolensäure, (2,1 %) Stearinsäure und (0,2 %) Arachidonsäure. /12, 66, 67, 68/

4.7 Mineralstoffe

Die Anteile der verschiedenen Mineralstoffe in Sorghumkörnern reflektieren die Mineralstoffzusammensetzung des Bodens und die Wachstumsbedingungen der Pflanze. Werte für Kalzium und Eisen, die oft mangelhaft in allen Getreidearten vorkommen, liegen auch bei Sorghumkörnern ähnlich niedrig. Die Bioverfügbarkeit von Eisen in Sorghum wird durch die Polyphenole negativ beeinflusst. Andere Mineralien in Sorghum sind Chlor 0,1%, Magnesium 0,18 %, Phosphor 0,33 %, Kalium 0,39 %, Natrium 0,03 %, Schwefel 0,15 %, Kobalt 0,18mg/kg, Jod 0,04 mg/kg, Mangan 18 mg/kg und Zink 19 mg/kg. /12, 26, 68/

4.8 Vitamine

Die Niacin-, Thiamin- und Riboflavin- Konzentrationen in Sorghum sind denen des Maises ähnlich. Der Niacingehalt von Sorghum als auch von Mais ist niedriger als von Weizen und Reis. Die Niacinmangelkrankheit (Pellagra) ist in den Teilen der Welt, in denen Sorghum und Mais Hauptnahrungsmittel sind, sehr verbreitet. Andere Vitamine, die sich im Sorghumkorn befinden, sind Vitamin D2 29 IU/g, Vitamin E 12 mg/kg, Vitamin K 0,2 mg/kg, Carotine 1,0 mg/kg, Biotin 0,42 mg/kg, Folacin 0,2 mg/kg, Pantotensäure 12,5 mg/kg und Vitamin B6 5,0mg/kg. /26, 68, 104, 139/

Tabelle 10: Mineralstoff- und Vitamingehalt der unterschiedlichen Getreidearten (mg/100g) (i. Tr.) /26, 59, 65/

Mineralstoffe	Weizen	Mais	Sorghum	Reis
Magnesium	180	140	150	130
Phosphor	410	310	405	380
Kalzium	60	30	20	70
Eisen	6	2	6	9
Zink	3	3	2	3
Vitamine				
Thiamine	0,55	0,44	0,44	0,413
Riboflavin	0,13	0,13	0,17	0,043
Niacin	6,4	2,6	4,8	4,31
Pyridoxine	0,53	0,57	0,60	
Folacin	0,56		0,20	
Pantotensäure	1,36	0,70	1,0	0,77
B6	4,7		5,0	

5. Traditionelle Lebensmittel aus Sorghum

Lebensmittel aus Sorghum werden hauptsächlich von den Bewohnern auf dem Lande verzehrt. Es ist anzunehmen, dass die eigene Verarbeitung von Sorghum für die Stadtbewohner schwierig ist. Lebensmittel aus Sorghum weisen einen sandigen Biss mit einem charakteristischen Aroma auf.

Sorghumkörner werden teilweise oder ganz durch traditionelle Methoden geschält, bevor sie weiter verarbeitet werden. Sorghummehle werden gewöhnlich für die Herstellung von Brei mit fester Konsistenz genutzt. Die Mehle können auch direkt zu Teig oder Massen zur Herstellung von Eierkuchen oder ähnlichen Produkten

verwendet werden. Durch Gären und Mälzen der Sorghumkörner können auch eine Reihe von alkoholischen und alkoholfreien Getränken zubereitet werden. Die bekanntesten traditionellen Lebensmittel aus Sorghum sind in Afrika dicke und dünne Breie, in Indien und Afrika Sauerteigbrot und Fladenbrot, in Mittelamerika Tortilla /11, 13, 14, 16, 37, 40, 42, 55, 61, 92, 94, 106, 110, 112, 128, 139, 145/.

5.1 Gebackene Produkte

Ganze Sorghumkörner werden vermahlen und durch ein Sieb von ca. 850µm gesiebt. Normal wird eine Ausbeute von 95 % erreicht. Die Größe der Mehlteilchen unterscheidet sich je nach der Art der Mühle und Sorte. Das so hergestellte Mehl wird mit Wasser gemischt und diese Mischung von Hand geknetet. Der Teig wird zu einer Kugel geformt, in eine runde Form gepresst und auf einer Ton- oder Eisenpfanne von beiden Seiten gebacken. Die Backtemperatur liegt zwischen 300-325°C. In Asien und Afrika wird Sorghummehlteig gegoren und zu pfannkuchenähnlichen Produkten verbacken. /26, 59/

5.2 Breinahrung und thermisch aufgeschlossene Körner

In den Ländern, wo Reis nicht als Hauptnahrungsmittel verzehrt wird, wird Sorghum ähnlich wie Reis zubereitet. Das ganze Korn wird geschält und gebrochene Körner oder Grieße werden ähnlich wie Reis gekocht.

Andererseits können ganze oder geschälte Körner über Nacht in Wasser eingeweicht und am nächsten Morgen gekocht werden. Das Einweichen der Körner reduziert Kochzeit und Farbtintensität der Produkte und verbessert die Qualität, wahrscheinlich wegen einer teilweisen Gärung der Körner. Außerdem werden Sorghummehle für eine Vielfalt von dampfgekochten Lebensmitteln benutzt. In vielen Ländern werden aus Sorghum hergestellte Breie (dünn/dick) als Hauptnahrungsmittel verzehrt. Einige werden aus fermentiertem Sorghummehl (Ogi in Nigeria) und einige aus direkt ermahlenem Sorghummehl (Genfo in Äthiopien) zubereitet. Diese fermentierten und unfermentierten Mehle werden in vielen Ländern mittels Dampf gekocht (Couscous) und gegessen. / 11, 26, 59, /

5.3 Alkoholfreie Getränke

In Afrika werden mehrere alkoholfreie Getränke aus Sorghum zubereitet. Die meisten dieser nicht alkoholischen Getränke sind sauer. Eine fehlende genaue mikrobiologische Kontrolle unter den örtlichen Gegebenheiten macht es schwierig, reine alkoholische oder alkoholfreie Gärung herzustellen. Viele Produkte haben daher einen niedrigen Alkoholgehalt. /26, 93, 104/

5.4 Alkoholische Getränke

In vielen afrikanischen Gemeinden spielen Sorghumbiere und -weine eine wichtige soziologische Rolle und werden auf festlichen Gelegenheiten, an sozialen Versammlungen oder während Gemeindearbeitsprojekten serviert. /26, 59, 93/

6. Stand des Wissens zur Verarbeitung von Sorghum

6.1 Schälen

Die Trennung der Spelze bzw. der Frucht- und Samenschale von einem Getreidekorn ist als Schälen zu verstehen. Dabei sollte der Mehlkörper möglichst nicht beschädigt werden. Die stoffliche Zusammensetzung des Kornes und sein struktureller Aufbau beeinflussen das Verfahren. Auf Grund des unterschiedlichen Kornaufbaus sind verschiedene Wirkprinzipien des Schälens erforderlich. Mit Wirkung von Druck-, Schub-, Reibungs-, Prall- und Stoßkräften trennen die Schälmaschinen Spelze und Schale vom Getreidekorn. Das aufeinander Abstimmen der Guteigenschaften und der Wirkprinzipien hilft, einen hohen Schälgrad zu erreichen. Zur Verbesserung der sensorischen Eigenschaften und der Qualität bestimmter Getreidearten, die als körniges oder flockiges Getreideprodukt meist durch Kochen zubereitet werden, wird die unverdauliche feste Schale entfernt. Für die Körner, die keine Furche besitzen und das gewünschte Endprodukt Ganzkorn sein sollte, ist dieser Trockenschälprozess die Alternative zur Walzenstuhlvermahlung.

Traditionell werden die Sorghumkörner mit Wasser durchfeuchtet und in einem Mörser bearbeitet, um das Pericarp abzutrennen. Diese Technik ist jeden Tag eine langandauernde und anstrengende Arbeit für die Menschen. Die feuchten Körner werden in einem aus Stein oder Holz hergestellten Mörser gegeben und einige Minuten von ein oder zwei Frauen oder Männern zerstampft. Diese zerstampften

Körner werden in der Sonne getrocknet und nochmals im Mörser bearbeitet, um den restlichen Schaleanteil zu entfernen. Durch diesen traditionellen Schälprozess kann eine Endospermausbeute von 70 % bis 80 % erreicht werden.

Bei diesem sehr arbeitsaufwendigen Schälen sind die Inhaltsstoffsveränderungen insbesondere wegen der geringen Fettabnahme nicht zufrieden stellend /26/.

Auf Grund des spröden Verhaltens der Sorghumschale trotz Konditionieren fallen bei der Walzenstuhlvermahlung geringe Mengen schalefreier Mehlkörperfraktionen an. Deshalb müssen die Sorghumkörner vor der Vermahlung geschält werden. Häufig werden die Schälprinzipien des Reis- und Gersteschälens sowie Poliermaschinen angewendet. Die Bauformen dieser Schälmaschinen sind unterschiedlich. Meistens arbeiten rotierende Schälorgane gegen einen Siebmantel. Die Probleme, die beim Schälen von Sorghum entstehen, sind durch das Verbleiben der Keimlinge am Endosperm bedingt. Ihre Anwesenheit führt zu einem höheren Fettgehalt der Mehle und zu schnellerem Ranzigwerden der Mehle. Die geschälten Körner werden mittels Hammermühle oder Walzenstuhl, aber auch mit der Kombination beider Mühlen trocken, halbfeucht und feucht vermahlen. /26, 59, 73, 95, 150 /

Schälversuche von Mwasuru /95/ ergaben, dass Sorten mit rundem Korn zu niedrigen Schälgraden führen. Wills und Ali /149/ untersuchten den Einfluss der Korngröße von 28 Sorghumsorten auf den Schälgrad und fanden, dass die Körner für einen niedrigen Schälgrad möglichst kurze Schälzeiten und eine einheitliche Korngröße besitzen müssen. Scheuring /118/ ermittelte, dass Sorghum mit dünnem Pericarp eine geringe Schälzeit benötigt. Da ein hoher Tanningehalt in den Sorghumsorten mit einem weichen Endosperm korrespondiert, ist der Tanningehalt des Kornes mit der Ausbeute negativ verknüpft.

Auch von Munck /90/ mit 5 % Wasserzugabe unternommene Schälversuche mit einer Schälmaschine zeigen zwar einen niedrigeren Fett-, Asche- und Rohfasergehalt an, jedoch liegen die Ausbeutewerte niedrig. Außerdem fehlen für einen Vergleich Angaben zu den Inhaltsstoffen des Ganzkornes. Fiedel & Yajid /35/ hatten, um die Qualität des TÖ, ein traditioneller dicker Brei in Afrika, zu verbessern, neun Sorghumsorten mittels Schälmaschine geschält, und die chemische Zusammensetzung untersucht (siehe Tabelle 11).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Inhaltsstoffwerte abnahmen und niedrige Ausbeutewerte erreicht werden. Es wurden bis zu 57,6 % Gesamtmineralstoff und bis 67 % Gesamtfett entfernt.

Tabelle 11. Chemische Zusammensetzung des geschälten Sorghumkorns in %

Sorghumsorten	Ausbeute	Proteingehalt		Mineralstoffgehalt			Fettgehalt		
		a	b	a	b	c	a	b	c
SPV472	63	7,9	7,0	1,18	0,5	57,63	2,8	0,9	67,89
M351	57	9,8	8,7	1,23	0,49	60,1	2,8	0,9	67,89
WS1297	70	8,4	7,9	1,2	0,34	71,6	2,6	0,7	73,1
IS24761	79	13,9	9,7	1,42	1,15	19,1	3,1	1,9	38,7
IS24885	72	10,3	8,9	1,44	0,73	35,6	2,8	0,9	67,9
IS22472	83	10,7	9,8	1,44	0,87	40,0	2,5	1,5	40,00
IS24729	64	8,7	6,9	1,54	0,85	44,9	3,0	1,6	46,7
IS15255	38	6,9	6,6	1,17	1,02	22,9	2,3	1,7	26,1
IS25359	43	8,2	7,9	1,36	0,86	27,76	2,5	1,4	44,00

- a) Ganzkorn in %
- b) Geschälte Körner in %
- c) reduzierte Asche- & Fettgehalte in %

6.2 Vermahlen

6.2.1 Trockenmahlung

Die Aufgabe der Vermahlungsstufen ist es, aus dem Korn im trockenen oder genetzten Zustand Schale, Keim und Mehlkörper so sauber wie möglich voneinander zu trennen und durch Sieben in Fraktionen aufzuteilen.

Die zur Zerkleinerung von Weizen üblichen Vermahlungsmaschinen sind auf Grund relativ hoher Produktionskosten, geringer Ausbeute und Produkt-Qualität wenig geeignet. Das geschälte Korn wird traditionell mit den handbetriebenen Steinmühlen, die aus einem flachen feststehenden und einem beweglichen Stein bestehen, aber auch mittels Dieselmotor oder elektrisch betriebenen Stein- oder Hammermühlen gemahlen (Abb. 2). Dies ist ausnahmslos die Arbeit der Frauen. Um die Qualität der daraus hergestellten Lebensmittel beizubehalten, muss das Mehl täglich neu hergestellt werden. In der Literatur werden einige Möglichkeiten zur industriellen Sorghumtrockenvermahlung beschrieben./26, 108, 110/ Ein Vorschlag basiert auf der Verarbeitung weißer Sorghumsorten und hartem Endospermanteil mit vorhandenen Weizen- und Maismühlen. Damit konnten für die Brauereien Sorghumgrieß sowie einfache Mehle hergestellt werden. Auf Grund

relativ hoher Stippenbildung trotz niedriger Ausbeute (<70 %) wird von Sorghumsorten mit hohem Tanningehalt und weichem Endosperm abgeraten /26/

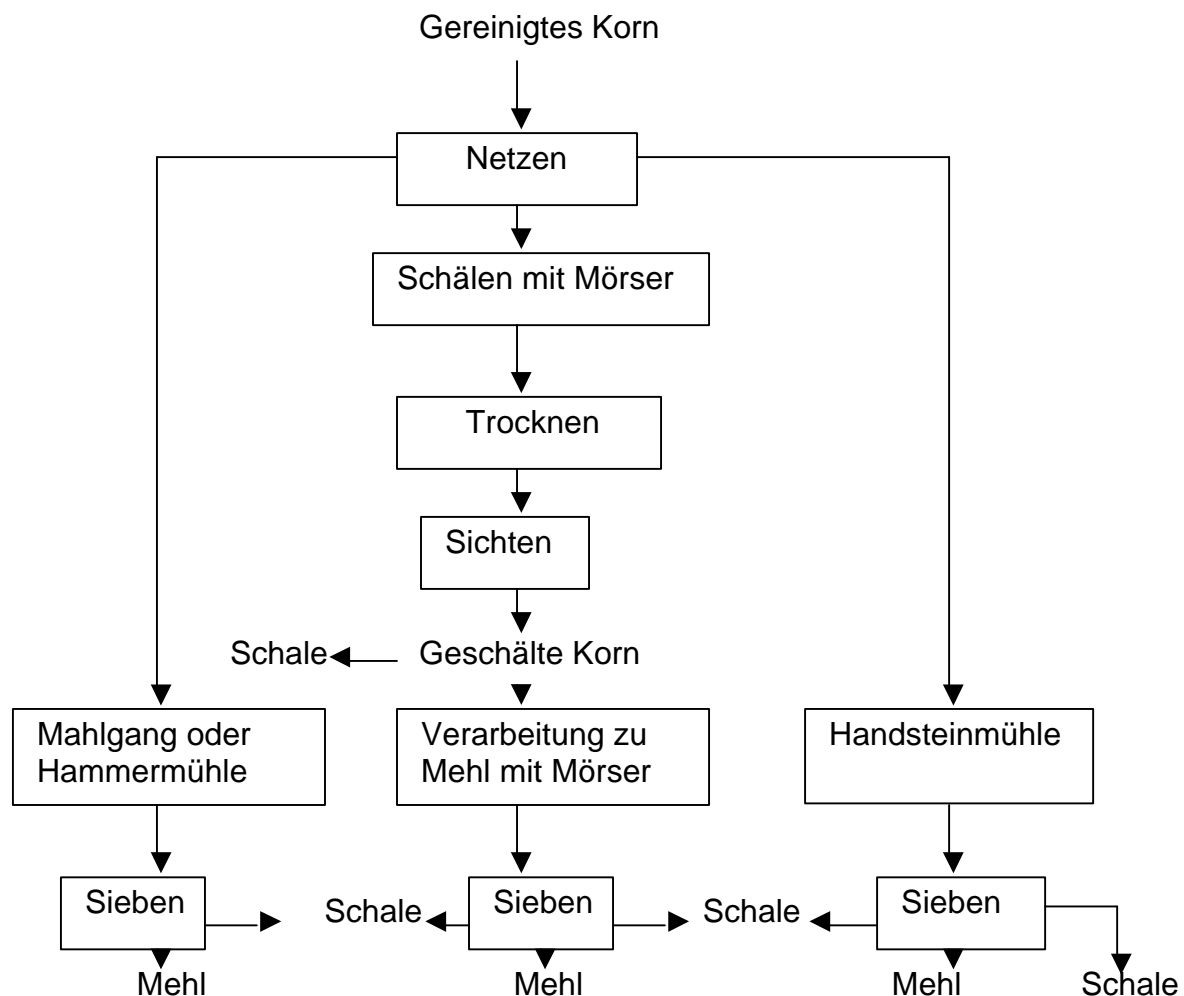


Abbildung 2: Prozessschema der traditionellen Sorghumvermahlung

In einem weiteren Vorschlag wird das Sorghum mit einer Scheibenmühle zu groben flockigen Schalen und Endospermtelchen zerkleinert. Die Schale wird mittels Sieb und Sichter getrennt. Das grobe Endosperm wird mit einer oder zwei Scheibenmühlen zu Mehl verarbeitet. Hier wird von einem höheren Feuchtegehalt der Sorghumkörner vor der Vermahlung ausgegangen (3, 5, 26).

Die dritte Alternative schaltet vor der Vermahlung ein Schläggregat ein.

Nach dem Schälen werden die Fein- und Grobschalen mittels Zentrifugal- und Luftsieb getrennt und die feinen Endospermteilchen zu den geschälten Körnern zurückgegeben und mittels Scheibenmühle vermahlen. /2, 3, 41, 75, 90, 149/

Abb. 3 zeigt den Ablauf dieses Verarbeitungsweges. Aus Tabelle 12 sind die Inhaltsstoffgehalte der mit diesem Vorschlag bearbeiteten Fraktionen zu entnehmen.

Tabelle 12: Ausbeute und Inhaltsstoffgehalt von drei Sorghumsorten

(nach Munck) (90) *= In % i. Tr./26/

Proben	Endo- sperm	Gesamt- produkt	Ausbeute		A+B				
			A	B	Stärke *	Fett*	Asche*	Protein *	Rohfaser *
Dekalb	34,7	74,7	74,7		86,5	0,6	0,53	12,1	0,5
Argentine	43,4	52,5	36	16,5	83,2	1,1	0,53	11,7	1,5
IS4225	38,7	71,4	51	20	81,6	1,1	0,69	11,5	0,9
Pearlmiellet		82	56	26	82	2,2	0,73		1,0

Perten /108/ führte vergleichende Mahlversuche zwischen Weizen-, Hirse- und Sorghumkörnern mittels Walzenstuhl durch. Danach hat Sorghum andere Mahleigenschaften als Weizen und Hirse. Die Mehlausbeute ist am niedrigsten, die Werte der Inhaltsstoffe entsprechen etwa denen des Hirsemehls, sind aber schlechter gegenüber Weizenmehl.

Die Ausbeute des Siebdurchgangs < 125 µm lag bei Sorghum und Hirse niedriger als bei Weizen. (siehe Tabelle 13)

Tabelle 13: Erzielte Ausbeutewerte nach Walzenstuhlzerkleinerung

	Siebdurchgang in %	Kleie in %	Siebübergang in %
Weizen	69	28	3
Hirse	57	17	26
Sorghum	47	15	38

Sorghum- und Hirsemehl haben trotz geringer Ausmahlung im Vergleich zu Weizen höhere Inhaltsstoffanteile der Kornrandschichten. Demzufolge sind die Anteile in den Siebübergang niedriger gegenüber dem Weizen. Darin kommt die schlechtere Trennbarkeit von Schale und Mehlkörper bei Sorghum und Millet zum Ausdruck.

Tabelle 14: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Mahlprodukte

	Ausbeute in %	Asche in %	Protein in %	Fett in %
Weizenmehl	69	0,50	10,1	2,2
I Siebübergang	3	3,12	15,1	6,2
Übergangsmehl	(54)	2,01	14,2	6,0
II Übergang	(46)	3,97	14,7	6,2
Hirsemehl	57	1,38	7,8	5,2
I Siebübergang	26	2,59	13,6	8,3
Übergangsmehl	(72)	3,00	14,0	10,1
II Übergang	(28)	1,48	12,0	4,5
Sorghummehl	47	1,30	7,9	3,3
I Siebübergang	38	2,12	13,6	5,4
Übergangsmehl	(37)	2,80	12,1	5,8
II Übergang	(63)	1,89	14,4	4,5

Empere /30/ hat aus hochtanninhaltigem Sorghum das Produkt OGI durch Trockenvermahlung mittels Walzenstuhl hergestellt. Dieses Lebensmittel wird in Nigeria traditionell durch Nassvermahlung aus Sorghum, Mais bzw. Millet erzeugt. Die nach der Trockenmahlung aus Sorghum gewonnenen hellen und dunklen Mehle wurden untersucht. Das dunkle Mehl enthielt 50 % des gesamten Tanningehalts des Kornes.

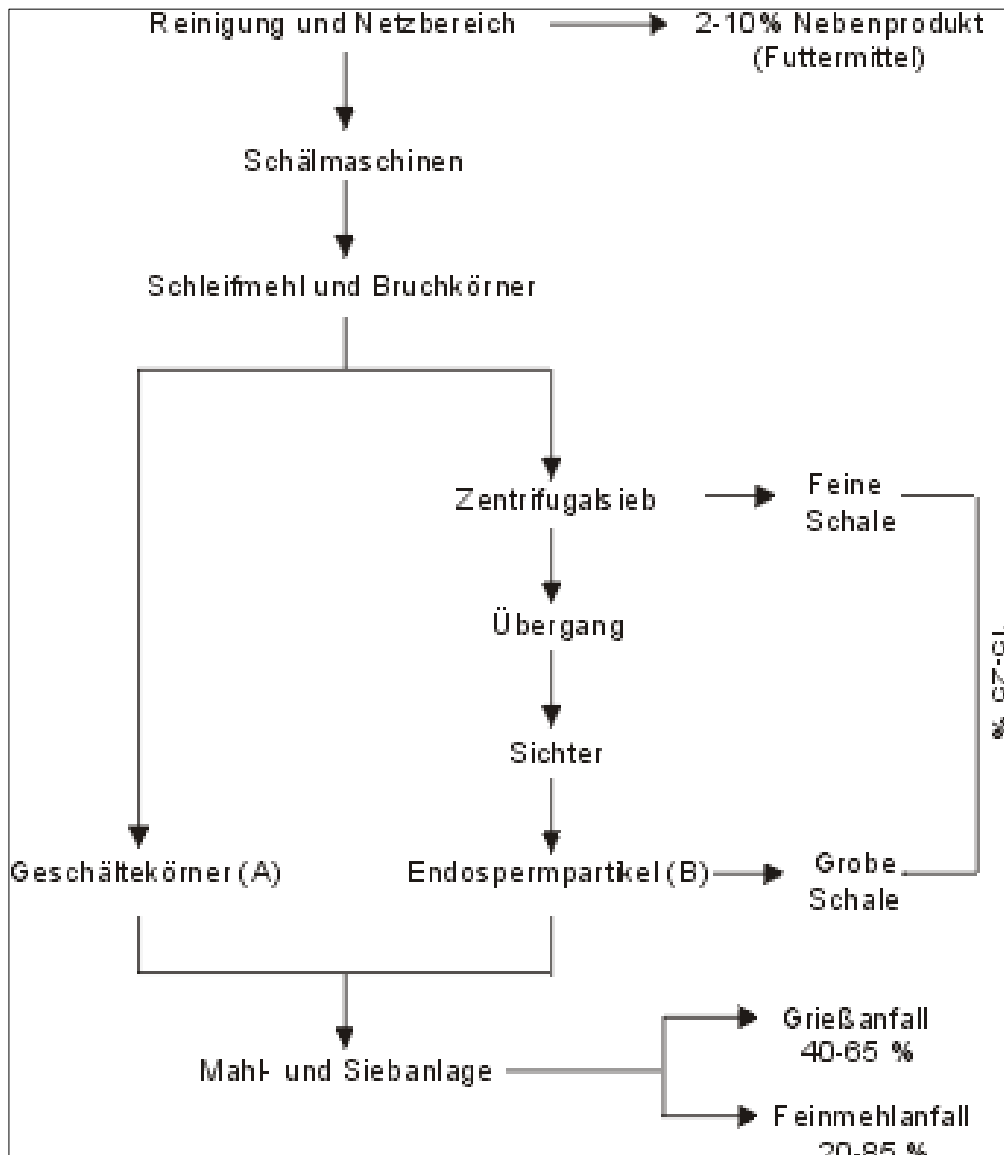


Abbildung 3: Schema einer industriellen Mühle für Sorghum mit einem Durchsatz von 2 t/h. (Munck et al. /95/)

6.2.2 Nassmahlung

Die Nassvermahlung von Sorghum wird meistens in der Stärkeindustrie eingesetzt. Das Verfahren ist ähnlich dem Nassvermahlen von Mais. Das Korn wird mit Wasser genetzt und für 30-40 h bei 48-52 °C mit Zugabe von 0,05-0,2%iger SO_2 abgestanden. Vor der Vermahlung weist das Korn einen Wassergehalt von 45 % auf. Die so vorbereiteten Körner werden mit Glattwalzen vermahlen, um die Körner zu entkeimen. Nachdem die Keimlinge mit Hilfe eines Zyklons entfernt wurden, wird das keimlingsfreie Gut vermahlen, danach

gewaschen und gefiltert, wobei die Schalenteilchen abgetrennt werden. Am Ende wird nochmals mit Hilfe eines Zyklons das Gluten von der Stärke abgetrennt. Nach nochmaligem Waschen und Zentrifugieren erfolgt die Trocknung der nassen Stärke. Abb. 4 zeigt das Prozessschema der Sorghumstärkeherstellung. Verglichen mit Mais ist das Trennen von Sorghumstärke und Gluten relativ schwierig. Da das Sorghumpericap spröder als das Maispericap ist, verursacht es meistens Verfärbungen in den Sorghumstärken. Wegen seiner kleinen Körner müssen bei der Entkeimung Walzen mit höherer Riffelzahl eingesetzt werden. Um das Bruchverhalten zu verändern, muss die Abstehtzeit verlängert werden. Die ökonomische Nutzung der Sorghum-naßvermahlung kann verbessert werden, wenn neue Kulturen mit verbesserten Eigenschaften gezüchtet werden. Das höhere und billigere Angebot von Sorghum gegenüber Mais macht das Nassvermahlen ökonomisch attraktiver /26/.

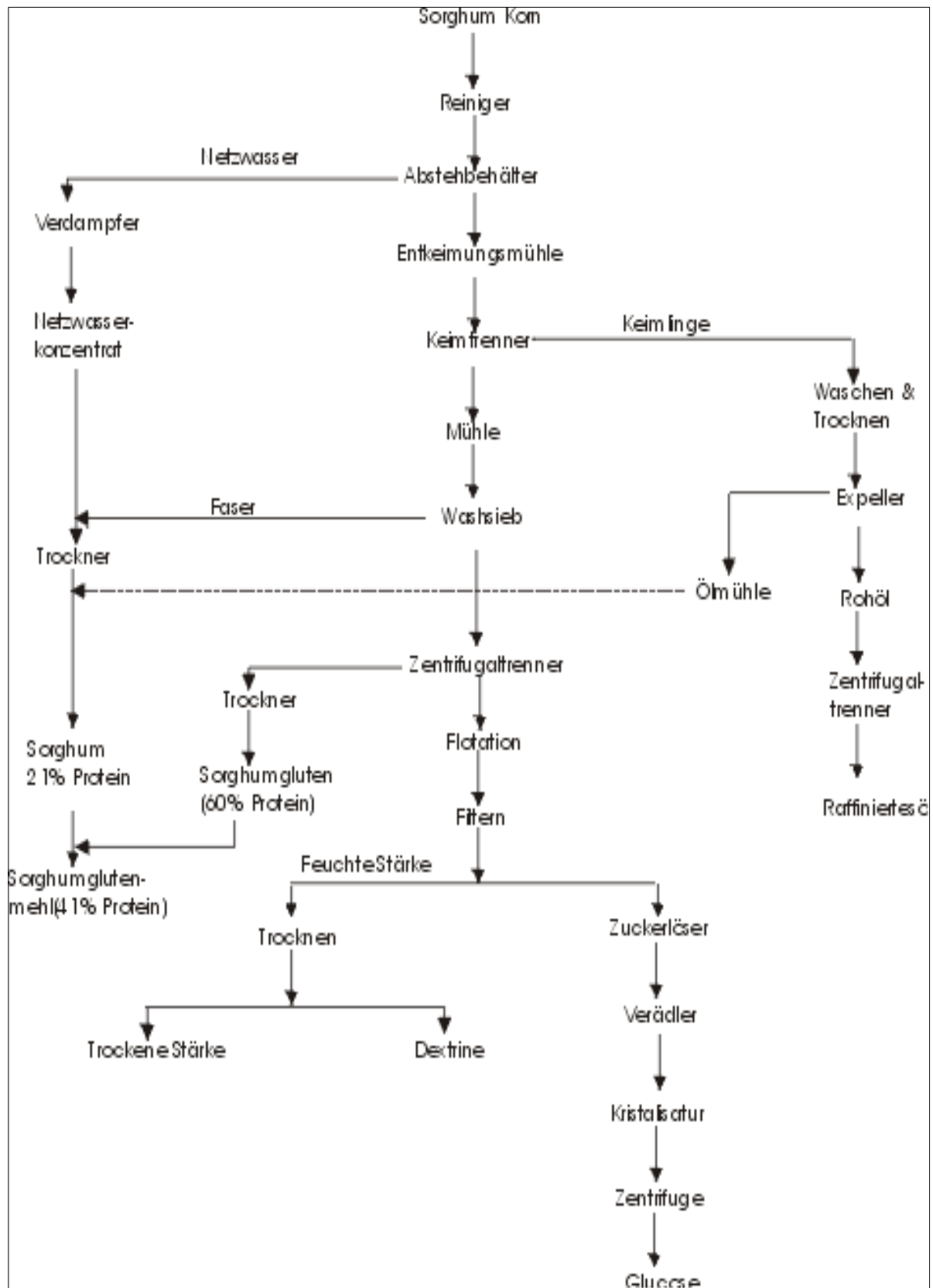


Abbildung 4: Maschinendurchlaufschema der Nassmahlung zur Stärkegewinnung (nach Watson /95/)

6.2.3 Halbnassmahlung der Sorghumkörner

Die Technologie der Halbnassvermahlung wurde von einigen Autoren untersucht. In England wurde ein Verfahren entwickelt, in dem das Korn mit 23–30 % Wassergehalt und Abstehtzeiten von 16-24 h unter Raumtemperatur von 20-30 °C mittels Walzenstuhl zu Grieß oder Mehl vermahlen wird. Die Ausbeuten lagen zwischen 74 %-85 %. Bei den feinen Mehlen betrug die Ausbeute 56-61 % mit niedrigem Fett- und Aschegehalt. Diese Technologie wird in den USA und in Zimbabwe angewendet. Mit diesem Mahlverfahren konnten z. B. bei einer Mehlausbeute von 56 % etwa 50 % des Gesamttanningehalts entfernt werden (siehe Tabelle 15). Die Nachteile dieses Verfahrens bestehen im hohen Wasserverbrauch, im Nachtrocknen der Produkte und in der Nichteignung dieser Technologie für kleine Betriebe. Dieses Verfahren kann aber in den bereits existierenden Maismühlen zur Sorghumvermahlung verwendet werden.

Tabelle 15 zeigt durch Halbnassvermahlung, mit Zugabe von 20 %-27 % Wasser bei 60 °C –70 °C und mit kurzer Abstehtzeit (höchstens 6h) erzielte inhaltstoffliche Verschiebungen am Beispiel von zwei unterschiedlichen Sorghumsorten, die mittels Bühler Labormühle zerkleinert worden waren. /26/ Der niedrige Tanningehalt des Mehles der Sorte Serena resultiert aus dem geringen Mehlanfall bei gleichzeitig hohem Kleieanfall von 27 %.

Tabelle 15: Halbnasswalzenstuhlvermahlung von zwei unterschiedlichen Sorghumsorten (nach D. A.V. Dendy /26/)

JS 76					Serena			
	Ganzkorn	Mehl	Mischmehl	Kleie	Ganzkorn	Mehl	Mischmehl	Kleie
	In %	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Ausbeute		56,0	30,0	14,0		56,0	17,0	27,0
Fett	3,2	2,6	2,9	6,2	2,4	1,2	2,6	2,4
Rohfaser	1,9	0,14	1,2	9,5	2,3	0,3	1,5	2,3
Tannin	-	-	-	0,3	1,7	0,8	1,9	1,7
Protein	14,2	9,7	23,6	12,2	13,0	10,3	24,7	13,0
Stärke	74,8	81,4	70,0	59,0	69,2	80,2	62,1	69,2
Asche	1,6	1,5	1,5	2,3	2,0	1,0	2,0	2,0
H ₂ O-Zugabe	27 %				20 %			

6.3 Stand der wissenschaftlichen Untersuchungen zur Sorghumextrusion

Sorghum kann wie alle Getreidearten durch den Hoch-Temperatur-Kurzzeit (HTST)-Prozess expandieren. M. H. Gomez u. a. haben drei Sorghumsorten mit verschiedenem Amylosegehalt (12,2 %; 21,15 % und 26,7 %) extrudiert. Die Extrusionsparameter waren eine Temperatur von 150 °C, Schneckendrehzahl 800 min⁻¹, Durchsatz 3 kg/min und die Feuchte 17 %-45 %. Mit steigendem Feuchtegehalt wurde von ihnen die Abnahme des Expansionsindex und die Zunahme der Dichte und der Bruchkraft festgestellt. Aus den Extrudaten wurden Mehle gewonnen und daraus Atoles (ein dünner Brei), der traditionell aus geröstetem Sorghummehl hergestellt wird, zubereitet sowie Vergleiche mit herkömmlichen Atoles unternommen. Die Viskosität, Farbe, Struktur und die invitro Proteinverdaulichkeit verbesserte sich. Das Produkt mit dem höheren Amylosegehalt schnitt sehr gut ab.

Fapouw, O. O., Jau u.a. haben die invitro Proteinverdaulichkeit der Sorghumextrudate in Abhängigkeit von den Extrusionsparametern einschließlich Feuchte untersucht. Zwei Sorghumsorten mit niedrigem Tanningehalt wurden unter Zugabe von 0,2 % bzw. 4 % Kalziumhydroxidlösung bei Temperaturen von 50 °C, 125 °C und 200 °C und bei Schneckendrehzahlen von 50 min⁻¹, 125 min⁻¹ und 200 min⁻¹ sowie einer Feuchte von 15 % bzw. 25 % extrudiert. Die Extrusion steigerte die Verdaulichkeit von 45,9 % auf 74,6 % bzw. von 43,9 % auf 68,2 %. Festgestellt wurde, dass die Temperatur der entscheidende Extrusionsparameter für die Beeinflussung der Verdaulichkeit war. Daraus wurde geschlossen, dass der Einsatz der aus Sorghumextrudaten hergestellten Mehle anstelle der traditionellen Zubereitung von dünnen und unfermentierten Breien zu besserer ernährungsphysiologischer Qualität führen muss.

Hassan A. Al- Kahtani aus Saudiarabien stellte Sorghumflakes aus reinem Sorghum und mit 10 % bzw. 50 % Zugabe von verschiedenen Weizenmehlen (75% Mehlausbeute) her. Er untersuchte die sensorischen, chemischen und ernährungsphysiologischen Veränderungen dieser Produkte. Die sensorischen Bewertungen haben keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Produkten gezeigt. Der Zusatz von Weizenmehl steigerte sowohl den Protein- als auch den Zuckergehalt, verringerte Fett-, Mineralstoff- und Rohfasergehalt. Die Mineralstoffzusammensetzung der Produkte hat generell eine Anreicherung von Natrium, Phosphor, Magnesium und Eisen, aber auch Mangel an Kalzium und

Kupfer gezeigt. Ein Anteil bis zu 50 % Weizenmehl in der Mischung verbesserte die Qualität am stärksten. Durch die Untersuchungen wurde festgestellt, dass diese Produkte fast die gleiche Akzeptanz fanden wie die herkömmlichen am Markt befindlichen Produkte. Ayyat M. (Ägypten) und H. Boiling, A. El-Baya (Deutschland) haben umfangreiche Versuche durchgeführt mit dem Ziel, neue Extrusionsprodukte auf der Basis von Sorghumkorn herzustellen. Die Produkte wurden nach ihren physikalischen, chemischen, ernährungsphysiologischen und organoleptischen Eigenschaften untersucht. Als Hauptrohstoff wurden zwei Sorghumsorten und als Zusatzrohstoffe Weichweizen, Mais, Reis, entfettetes Sojamehl (47 % Proteingehalt), Trockenmagermilch (32 % Proteingehalt), Saccharose und Natriumbikarbonat für den Versuch eingesetzt. Der Extrudertyp BC 45 von der Firma French Creusot Lovie wurde mit folgenden Extrusionsparametern gefahren: Temperatur 155-156 °C, Druck 30-35 bar, Verweilzeit 40-60 s, Schneckenumdrehung 150 min⁻¹ und Durchsatz 350 g/min. Es wurden Wasserabsorptionsindex, Wasserlöslichkeitsindex, Expansionsrate und das jeweilige spezifische Volumen nach Anderson et al. Geprüft./152/

Die Prüfung der organoleptischen Eigenschaften (Aussehen, Oberflächenbeschaffenheit, Farbe, poröse Struktur und Kaubarkeit) wurde nach dem Schema von Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot durch zwei Spezialisten dieses Gebiets vorgenommen. Der Feuchte-, Rohprotein-, Fett- und Mineralstoffgehalt wurde vor und nach der Extrusion nach den Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot ermittelt. Für die Ermittlung der ernährungsphysiologischen Werte wurden 24 männliche Ratten mit gleichem Gewicht eingesetzt. Die Proteinverdaulichkeit, der biologische Wert und die Netto-Proteinnutzung wurden analysiert. Insgesamt wurden die Werte als sehr gut, bei einigen Produkten als gut bewertet. Bei steigender Zugabe von Sorghumvollkornmehl (Sorte BR mit 2,9 % Tanningehalt) änderte sich die gelbe Farbe zu braun, die glatten Oberflächen zu rauhen und die feine oder reguläre poröse Struktur zu einer groben. Die Farbänderung könnte an der Höhe des Gehalts des Polyphenols Tannin liegen, wobei die Ursache für die Veränderungen des Oberflächencharakters und der Struktur in der Zunahme der Grobmehlanteile des Sorghumvollkorns zu vermuten sind. Alle Produkte zeigten gute physikalische Eigenschaften. Die aus Sorghummehl hergestellten Extrudate zeigten bessere physikalische Eigenschaften als die aus Sorghumvollkorn hergestellten. Die Produkte aus Sorghum-Weizenmehl-Gemisch (Mischungsverhältnis 1:1) ergaben den besseren Wasserabsorptions- und Wasserlöslichkeitsindex sowie die bessere

Expansionsrate, gefolgt von Produkten aus 97 % Sorghummehl mit 10 % entfettetem Sojamehl. Die spezifischen Volumina und die Expansionsrate nehmen ab, wenn die Menge des Sorghums zunimmt. Die Proteinzugabe, insbesondere durch entfettetes Sojamehl, steigert die physikalischen Eigenschaften des Extrusionsproduktes. Im Endergebnis kann Sorghumkorn und/oder seine Mehle allein und/oder nach der Mischung mit anderen Getreidearten zur Herstellung akzeptabler Extrudate erfolgreich eingesetzt werden. Während der Extrusion ist das Lebensmittel kurzzeitig hohem Druck, hoher Temperatur und Schereinwirkung ausgesetzt, die sowohl physikalisch-chemische Veränderungen der Lebensmittelinhaltsstoffe hervorrufen als auch deren ernährungsphysiologische Qualität beeinflussen können. Das Ausmaß der Änderungen hängt sowohl von der Rohstoffzusammensetzung als auch von den prozessabhängigen Variablen ab. Nach Gomez und Aquilera (1984) wird das Maximum von Stärkegellatinisierung meist bei 27 %-29 % Feuchte erreicht. Der Wassergehalt soll daher während der Extrusion 16 %-30 % betragen. Die Qualität verbessert sich mit steigender Schneckendrehzahl durch mehr Knusprigkeit, bei stärkerer Expansion und damit kleinerer Dichte. Der Aufschluss wird mit steigender Drehzahl vollkommener, was sich in einer höheren Wasseraufnahmefähigkeit zeigt, die eine höhere Kaltkleisterviskosität ergibt. Bei konstantem Mehldurchsatz von 5 kg/h soll die Schneckendrehzahl 200 min⁻¹ betragen. Mit steigender Gehäusetemperatur wird das Produkt zarter, bis es bei zu hohen Temperaturen verbrennt. Bei einem Feuchtegehalt von 16 %-30 % und einer Schneckendrehzahl von 200 min⁻¹ ist die optimale Temperatur 150 °C. / 8, 10, 21, 24, 49, 62, 73 /

7. Versuchsmaterial und Untersuchungsmethodik

Das für die Untersuchungen notwendige Sorghum wurde aus der Ernte 1994 und 1997 für die Vor- und Hauptversuche aus Äthiopien nach Deutschland eingeführt. Es wurden 3 repräsentative Sorten in Absprache mit den dortigen Wissenschaftlern ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Seredo aus der tieferen Region Äthiopiens, Birmash aus dem mittleren Gebiet und AL70 aus dem Hochland. Alle drei Sorten wurden auf ihre inhaltsstoffliche Zusammensetzung untersucht. Nach diesen Feststellungen wurde auf Grund von Literaturangaben und durchgeführter Vorversuche ein statistischer Versuchsplan (BN-Plan) für die Durchführung der Versuche erstellt.

7.1 Eigenschaften des Versuchsmaterials

7.1.1 Sorte AL70

Die Sorte AL70 wächst in den höheren Regionen Äthiopiens (1900-2000 m) mit jährlich 870 - 900 mm Niederschlag. Es ist eine nackte Sorte mit klaren weiß-gelblichen Samen. In den Versuchsfeldern liegt das Ertragspotential bei 3,5 – 5 t/ha und bei etwa 3,9 t/ha bei den Bauern.

Auf Grund der langen Vegetationsperiode und bei ausreichendem Wasser hat die Sorte AL70 einen kompakten Kornaufbau und besitzt ein griffiges Endosperm, welches dem Mais ähnelt. Sie ist eine tanninfreie Sorghumsorte.

Beim Schälen konnte im Gegensatz zu den beiden anderen Sorten ein gleichmäßiger Schäleffekt erreicht werden. Die Versuche wurden mit dem Ziel durchgeführt, den hohen Fettanteil zu reduzieren, ohne eine negative Wirkung auf seine qualitativen und quantitativen Antwortgrößen zu erhalten.

7.1.2 Sorte Birmash

Birmash ist eine Sorte rötlicher Färbung, die für die mittleren Gebiete Äthiopiens (1600-1900 m) mit hohem jährlichen Niederschlag (>900 mm) ausgewählt wurde. Sie wächst in 147-181 Tagen. Birmash hat feste, halb kompakte Rispen. Die Länge der Pflanze liegt zwischen 131 cm und 238 cm. Sie besitzt eine hohe Resistenz gegen Blatt- und Rispenkrankheiten. Der potentielle Ertrag liegt zwischen 3– 6 t/ha.

Die Sorte Birmash hat ein weiches Endosperm, wobei bei der Verarbeitung der Mehlanfall sehr groß ist.

Die Sorte Birmash liegt in ihrem Kornaufbau zwischen den Sorten Seredo und AL70. Birmash weist einen sehr niedrigen Tanningehalt (0,38 % i. Tr.) und relativ hohen Fettgehalt (4 % i. Tr.) auf. Bei ihrer Verarbeitung war das Ziel, diesen hohen Fettgehalt möglichst ohne Verluste der anderen qualitativen und quantitativen Antwortgrößen zu reduzieren.

7.1.3 Sorte Seredo

Seredo ist eine braune Sorte und wurde für die niederen Gebiete (<1600 m), welche mit Vögeln Probleme haben, ausgewählt. Seredo reift in 110-130 Tagen. Diese Sorte hat gute feste und kompakte Rispen. Die Pflanze hat eine Länge von 100-140 cm und ist resistent gegen Blatt- und Rispenkrankheiten. Es können 2 - 4,5 t/h Ertrag erzielt werden.

Seredo gehört zu den hochtanninhaltigen Sorghumsorten. Die Verarbeitung dieser Sorte basierte darauf, ohne großen Verlust der Inhaltsstoffe den Tanningehalt, der sich hauptsächlich zwischen Schale und Endosperm befindet, zu minimieren.

Auf Grund der lang andauernden Dürreperioden und unzureichender Regenfälle in den Anbaugebieten der Sorte Seredo weist das Korn einen schwächtigen Aufbau und meistens unterschiedliche Inhaltsstoffe auf. So hat zum Beispiel der Tanningehalt bei der Ernte 1994 und 1997 unterschiedliche Werte (2,2 %-3,8 %). Dies gilt auch für Stärke- (66,8 %-61,0 %) und Proteingehalt (10,17 %-15,6 %).

Tabelle 16: Inhaltsstoffe und technologische Eigenschaften des untersuchten Materials

Merkmal	AL70	ETS2752	Birmash	Gambela 1107	Dinkmash	76T#23	Seredo	
							1994	1997
Feuchte in %	9,80	8,8	9,9	9,05	8,7	8,6	10,04	9,2
Stärke in %	79,96	76,10	69,4	70,37	76,02	74,44	66,8	61,0
Protein in %	11,16	10,17	10,64	13,14	10,5	12,08	10,17	15,6
Fett in %	5,0	3,40	4,0	3,45	5,1		3,15	3,82
Asche in %	1,42	1,44	1,53	1,51	1,71	1,5	1,6	2,2
Tannin in %	0,25	0,23	0,358	0,23	0,21	0,20	2,1	3,8
Rohfaser in %	3,75	2,8	3,1	3,06	3,54	2,4	4,6	
TKM (g)	32,6	24,4	19,0	26,5	21,2	24,0	22	19
Dichte (Kg/m ³)	1,315	1,235	1,236	1,266	1,265	1,219	1,205	1,205
Korngröße in mm								
Breite	4,0	4,1	3,4	4,4	4,0	4,0		3,9
Dicke	2,5	2,9	2,1	2,8	3,2	2,7		2,8
Länge	4,6	4,4	4,0	5,0	4,3	4,3		4,2
Schüttdichte (kg/m ³)	804		748				724	
Schüttwinkel (Grad)	32		31				31	31

7.2 Statistische Versuchsplanung

7.2.1 Zur Anwendung der Statistischen Versuchsplanung

Durch die Anwendung der Versuchspläne zur Optimierung nach mehreren Zielgrößen werden zwischen den Einflussgrößen und den Antwortgrößen Kompromisslösungen gesucht, die der geforderten Aufgabenstellung gerecht werden. Die Statistische Versuchsplanung erlaubt es, komplexe Zusammenhänge mit mehreren Einflussgrößen effektiv zu bewältigen. Unter Anwendung der Statistischen Versuchsplanung können mit einer minimalen Anzahl von gezielt angelegten Versuchen Ergebnisse mit ausreichender Sicherheit und Genauigkeit gewonnen werden. Die Statistische Versuchsplanung ist immer anwendbar, wenn es um systematisches Experimentieren im Zusammenhang mit Einfluss- Wirkungs- Beziehungen geht. Bei der Anwendung der Statistischen Versuchsplanung sollte in drei Etappen vorgegangen werden: Auswahl der signifikanten Einflussgrößen, Berechnung des optimalen Gebietes anhand eines Versuchsplanes 1. Ordnung und Berechnung des Optimums mittels eines Versuchsplanes 2. Ordnung. Die Statistische Versuchsplanung umfasst drei Teile:

- die Planmatrix und die Matrix der Unabhängigen Variablen
- die Antwortmatrix
- die Koeffizientenmatrix

7.2.2 Optimierung

An die Erarbeitung des mathematischen Modells schließt sich die Mehrfachoptimierung an. Hierbei sollen die Parameter gefunden bzw. errechnet werden, bei denen mit maximaler Ausbeute noch gute Produkte hergestellt werden. Für die Mehrfachoptimierung stehen die ermittelten Regressionsgleichungen der zu optimierenden Zielgrößen zur Verfügung. Für diese Zielgrößen müssen die den Anforderungen entsprechenden Idealwerte und Negativwerte gewählt werden. Gleichzeitig muss entschieden werden, ob die Antwortgröße maximiert oder minimiert werden soll.

7.3 Ausgewählte Einflussparameter für die Untersuchungen

7.3.1 Auswahl der variablen und konstanten Einflussgrößen

7.3.1.1 Variable Einflussgrößen

Da in dieser Arbeit die zu variierenden Einflussgrößen und ihre Zusammenhänge aufgeklärt werden sollen, wurde die Auswahl der variablen Einflussgrößen an vielen Arbeiten, die über die Sorghumverarbeitung veröffentlicht wurden, angelehnt. Als Einflussgrößen wurden der Feuchtegehalt der Körner, die Abstehtzeit beim Konditionieren, die Schälzeit bei den Schälversuchen, die Größe des Mahlspaltes bei der Walzenstuhlvermahlung, die Umfangsgeschwindigkeit bei der Prallvermahlung gewählt sowie die Drehzahl und die Gehäusetemperatur beim Extrudieren einbezogen. Feuchtegehalt und Abstehtzeit verändern die physikalisch-chemischen, strukturmechanischen und technologischen Korn-eigenschaften in komplexer Weise und beeinflussen damit die Verarbeitungsergebnisse.

Eine Zunahme der Schälzeit bedeutet eine längere Verweilzeit des Gutes in der Schälmaschine und dadurch einen höheren Schälgrad. Mit der Höhe der abgetrennten Kornteile verändert sich die stoffliche Zusammensetzung von Körnern und Schälmehl.

Der Mahlspalt ist der Abstand zwischen den Walzenoberflächen. Die Einstellung des Mahlspalts hat Einfluss auf die Zerkleinerungszeit, die Riffeleinwirkungszahl und die Zerkleinerungskräfte. Diese Änderungen beeinflussen die Korngrößenverteilung, den Zerkleinerungsgrad, den Mineralstoffgehalt, den Durchsatz und Energieverbrauch. Die Einstellung des Mahlspaltes ist abhängig von den gewünschten Produkten, den Rohstoffeigenschaften und den zerkleinerungstechnischen Parametern.

Die Umfangsgeschwindigkeit der Prallmühle ist die wichtigste Einflussgröße bei der Zerkleinerung. Mit ihrer Vergrößerung erhöht sich die auf das Gut übertragene kinetische Energie und die im Gutteilchen entstehende Bruchspannung und damit der Zerkleinerungsgrad. Drehzahl und Gehäusetemperatur beeinflussen beim Extrudieren die spezifische mechanische Energieeinleitung (SME) und die Produkttemperatur. Eine höhere Drehzahl und Gehäusetemperatur erhöhen die Werte der SME und die Produkttemperatur, diese wiederum beeinflussen die Werte der Antwortgrößen.

In einem Versuchsplan 2. Ordnung werden die Variablen in 3 Stufen von -1 bis $+1$ untersucht. Die Werte -1 und $+1$ geben die äußeren Versuchsgrenzen einer Einflussgröße an. Sie sind so zu wählen, dass alle Einflussgrößen innerhalb der Versuchsgrenzen reale Kombinationen eingehen können und eine messbare Veränderung der Zielgröße festgestellt werden kann. Um eventuelle Abhängigkeiten deutlich erkennen zu können, wurden die Abstufungen nicht zu klein gewählt. Außerdem musste auch die Möglichkeit der praktischen Umsetzung berücksichtigt werden. Tabelle 17, 18, 19 und 20 zeigen den Variablenplan für die Versuche.

Tabelle 17: Variablenplan für die Schälversuche

Variable	Bezeichnung	Einheit	Stufen		
			-1	0	+1
X ₁	Feuchte	%	12	14	16
X ₂	Abstehtzeit	h	1	3,5	6
X ₃	Schälzeit	s'	45	60	75

Tabelle 18: Variablenplan für die Walzenstuhlzerkleinerung

Variable	Bezeichnung	Einheit	Stufen		
			-1	0	+1
X ₁	Feuchte	%	13	15	17
X ₂	Abstehtzeit	min	20	40	60
X ₃	Mahlspalt	mm	0,2	0,3	0,4

Tabelle 19: Variablenplan für die Prallvermahlung

Variable	Bezeichnung	Einheit	Stufen		
			-1	0	+1
X ₁	Feuchte	%	13	15	17
X ₂	Abstehtzeit	min	20	40	60
X ₃	Umfangsgeschwindigkeit	m/s	70	90	110

Tabelle 20: Variablenplan für die Extrusion

Variable	Bezeichnung	Einheit	Stufen	
			-1	+1
X ₁	Feuchte	%	16	24
X ₂	Drehzahl	U/min	200	300
X ₃	Temp.	°C	60	160

7.3.1.2 Konstante Einflussgrößen

Die konstanten Einflussgrößen umfassen bei der Walzenstuhlvermahlung die Walzen-
daten (Riffelstellung, Riffelzahl, Riffeldrall, Riffelwinkel), Durchsatz (100 kg/h),
Voreilung (1.87), den Walzendurchmesser 250 mm und die Rohstoffqualität. Es wurde
mit der Riffelstellung Rücken/Rücken gearbeitet. Bei dieser Einstellung fallen
vergleichsweise mehr und feinere Zerkleinerungsprodukte mit besserer Qualität an als
bei der Riffelstellung Schneide/Schneide.

Bei der Prallzerkleinerung sind die konstanten Einflussparameter der Durchsatz (80
kg/h), der Mahlraum und die Anzahl der Stifte sowie der Stiftreihen.

Der Schälspalt zwischen den Schälscheiben und dem Siebmantel waren bei der
Schälmaschine die konstanten Einflussgrößen.

Für die Extrusion sind Durchsatz (30 kg/h) und Schneckengeometrie konstant.

7.4 Konditionieren des Versuchsmaterials

Durch das Konditionieren des Sorghumkornes sollten dessen Verarbeitungs-
eigenschaften gezielt beeinflusst werden. Kornfestigkeit und Härte werden
dadurch verringert und die Schale kann leichter vom Endosperm gelöst werden.
Um die gleichmäßige Wasserverteilung in dem Korninneren zu erreichen, wurde
das Probegut von Staub und Schwarzbesatz gesäubert. Die Benetzung wurde bei
20 °C Wassertemperatur durchgeführt. Bei der Auswahl des Verarbeitungs-
feuchtegehaltes wurde das landesübliche Verarbeitungsverfahren berücksichtigt.
Die benötigte Wassermenge wurde entsprechend der DUVALschen Formel
berechnet. Die Proben wurden in einem Behälter genetzt und verschlossen
abgestanden.

DUVALsche Formel

$$M_w = \frac{M_g \times (F_2 - F_1)}{100 - F_2} \times 100\%$$

M_w = Masse Wasser

M_g = Masse Gut

F₂ = zu erzielende Feuchtegehalt

F₁ = Feuchtegehalt des Gutes

7.5 Schälversuche

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass das Trockenschälen einen höheren Schleifmehlanfall verursacht und zur Minderung der Ausbeute führt. Um die schonende und gleichmäßige Trennung von Schale und Endosperm zu erreichen, wurden die ausgewählten Verarbeitungsparameter angewendet.

Vor dem Schälen wurden die Proben gereinigt und je 1000 g Sorghum die notwendige Menge Wasser mit einer Temperatur von 20 °C zugemischt. Für das Schälen wurde die Laborschälmaschine Fa. Schule aus Hamburg mit Korundscheiben eingesetzt. Es ist eine vertikale Schälmaschine, bei der die Schleifscheiben gegen einen gelochten Siebblechmantel arbeiten. Der Schälereffekt wird durch Veränderungen der Verweilzeit des Schälgutes im Arbeitsraum bestimmt. Nach dem Schälen wurde der Schälgrad, die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der geschälten Körner und der Schleifmehle untersucht bzw. berechnet.

$$\text{Schälgrad} = 1 - \frac{\text{geschälteKörnern}}{\text{ungeschälteKörnern}} \times 100\%$$

7.6 Vermahlungsversuche

7.6.1 Walzenstuhlvermahlung

Die Versuche wurden mit dem Laborwalzenstuhl (Mühlenbau Wittenberg) durchgeführt. Die Mahlgutmenge je Versuch betrug 2 kg. Das anschließende Sieben des Mehlgutes erfolgte in einem Laborplansichter mit dem Siebsatz 1000 µm, 710 µm, 630 µm und 500 µm. Die Siebzeit betrug 5 min. Anschließend wurden die Proben des Siebdurchganges < 710 µm bezüglich der Ausbeute und der inhaltsstofflichen Zusammensetzung untersucht.

7.6.2 Prallvermahlung

Die Versuche wurden mit der Laborstiftmühle Typ Rekord A durchgeführt. Die Mahlgutmenge je Versuch betrug 2 kg. Anschließend wurde das Mahlgut mittels Siebanalyse klassifiziert. Der Siebdurchgang <630 µm wurde als Ausbeute definiert.

7.7 Extrudieren

7.7.1 Vorbereitung des Versuchsmaterials

Vor der Durchführung der Extrusionsversuche wurden die Rohstoffe mit einer Laborprallmühle bei einer Prallgeschwindigkeit von 85 m/s zerkleinert, deren Mahlraum mit einem Sieb der Größe 1000 µm begrenzt war.

7.7.2 Extruderanlage

Die Extrusionsversuche wurden mit einem Zweiwellenlaborextruder Typ DNDL-44 Fa. Bühler AG durchgeführt. Die Feststoffe (Sorghumvollkornschrot) mit einem Feststoffdosiergerät (K-Tron Sooder, Typ-20) dem Extruder zugeführt. Das notwendige Wasser wurde direkt in die Extruderanlage mittels einer Pumpe zudosiert. Der Extruder besteht aus drei Gehäuseteilen mit einer Länge von 12 L/D. Die Schneckenkonfiguration bestand aus Einzugs-, Misch-, Plastifizier- und Druckaufbauzone. Das Gehäuse des Extruders wurde mit einer Ölzirkulationsheizung temperiert. Das Gehäuse am Einlauf wurde mit Wasser gekühlt. In der Kopfplatte wurde für alle Versuche eine Düsenplatte mit zwei Bohrungen zu 3,5

mm eingebaut. Die Messwerte (Prozess- und Systemgrößen) konnten während der Extrusionsversuche Online erfasst werden. Die bei jedem Versuch anfallenden Produkte wurden in dem Moment gesammelt, nachdem die Messung stattgefunden hatte. So konnten die genauen Extrusionsbedingungen für das dem jeweiligen Versuch zugeordnete Material ermittelt werden. Zur Vorbereitung der analytischen Untersuchungen wurden die Extrudate mit einer Schlagkreuzmühle auf eine Größe kleiner 800 µm zerkleinert.

7.8 Analytische Bestimmungsmethoden der Inhaltsstoffe

7.8.1 Bestimmung des Tanningehaltes

Die Extraktion der Gerbstoffe erfolgt mittels Dimethylformamid (durch Schütteln). Nach dem Zentrifugieren wird Eisen(III)- Ammoniumcitrat und Ammoniaklösung zu einem aliquoten Teil des Überstandes zugegeben. Anschließend erfolgt die spektrophotometrische Messung der Absorption bei 525 nm.

Des Gerbstoffgehaltes wird anhand einer auf Gerbsäure-Basis erstellten Eichkurve bestimmt.

Chemikalien: Gerbsäure-Lösung mit einem Gehalt von 2 g/l

Ammoniaklösung mit einem Gehalt von 36,8 g/l

Dimethylformamid- Lösung, 75 %ig

Eisen (III)- Ammoniumcitrat- Lösung mit einem Gehalt von 3,5 g/l.

Die Lösung muss 24 Stunden vor der Verwendung zubereitet werden.

Die gut homogenisierte 1g Probe <1mm Siebdurchgang wird in einem Zentrifugenglas mit einer Genauigkeit von 1 mg eingewogen, 20 ml der Dimethylformamid- Lösung zugefügt und 60 min geschüttelt und 10 min bei 3000m/s zentrifugiert. Mittels einer Pipette wird 1 ml des Überstandes entnommen und in ein Reagenzglas überführt. Mit der Pipette werden nacheinander 6 ml Wasser und 1 ml Ammoniak-Lösung zugefügt und mittels Rührstab einige Sekunden intensiv verrührt.

Mit Hilfe einer Pipette wird erneut 1 ml des Überstandes entnommen und in ein Reagenzglas überführt. Es werden mit der Pipette nacheinander zugefügt: 5 ml destilliertes Wasser, 1 ml Eisen (III)- Ammoniumcitrat- Lösung. Die Probe wird mittels Rührer einige Sekunden intensiv gemischt, ihr anschließend mit einer Pipette 1 ml der Ammoniaklösung zugesetzt und wiederum einige Sekunden mit dem Rührstab intensiv gemischt.

Die Lösungen werden in Meßküvetten eingefüllt und die Absorption am Spektrometer bei 525 nm im Vergleich zum Blindversuch gemessen. Die Messung muss 10 (+/- 1) min nach Abschluss der Vorgänge erfolgen. Diese Zeitspanne muss gleichfalls für den Blindversuch eingehalten werden. Als Ergebnis gilt die Differenz zwischen den beiden Absorptionswerten.

Für den Blindversuch wird statt des Zentrifugenüberstandes 1 ml Dimethylformamid verwendet. Am Testmuster wird eine Doppelbestimmung durchgeführt.

Aufstellung der Eichkurve (die Eichkurve muss täglich neu erstellt werden):

6 Maßkolben von 20 ml werden vorbereitet und mittels Pipette mit 0, 1, 2, 3, 4 bzw. 5 ml Gerbsäure-Lösung beschickt und mit Dimethylformamid- Lösung bis zur Eichmarke aufgefüllt. Die so aufgestellte Eichkurve entspricht 0 /0,1 /0,2 /0,3 /0,4 und 0,5 mg/ml. In vorbereitete Reagenzgläser werden jeweils 1 ml der Lösung einpipettiert, mit 5 ml Wasser und 1 ml Eisen (III)- Ammoniumcitrat- Lösung versetzt und einige Sekunden mit dem Rührer intensiv vermischt. Es erfolgt anschließend die Zugabe von 1 ml Ammoniaklösung mit nachfolgender intensiver Mischung mittels Rührer für einige Sekunden. Die so hergestellten Lösungen werden in Meßküvetten umgefüllt und die Absorption nach 10 (+/- 1) min im Spektralphotometer bei 525 nm im Vergleich zu Wasser gemessen.

Die Eichkurve wird erstellt, in dem die Absorptionswerte auf der Ordinate und die entsprechenden Konzentration der Gerbsäure in mg/ml auf der Abszisse aufgetragen werden.

Der Tanningehalt, dargestellt als Gerbsäure in Trockensubstanz, berechnet sich wie folgt:

$$\text{Tanningehalt} = \frac{2 * \left(\frac{c}{m} \right) * 100}{100 - H}$$

C = Konzentration der Gerbsäure (mg/ml)

m = Masse der Testprobe (g)

H = Wassergehalt (%)

7.8.2 Bestimmung des Rohproteingehaltes

Die ICC Standard Methode Nr. 105/1 wurde für die Bestimmung des Rohproteingehaltes angewendet. Unter Rohprotein versteht man den mit dem Faktor 5,7 bei Sorghum multiplizierten Gesamtstickstoff der Untersuchungssubstanz. Diese Bezeichnung Rohprotein beinhaltet, dass außer dem Proteinstickstoff noch anderer gebundener Stickstoff miterfasst wird. Das Prinzip der Bestimmung des Proteingehaltes nach Kjeldal ist die Reduzierung des Stickstoffs zu Ammoniak mittels reduzierender Substanzen und konzentrierter Schwefelsäure. Durch Versetzen mit überschüssiger Lauge wird der Ammoniak in eine vorgelegte Säurelösung überführt, durch Neutralisation aufgefangen und die dazu verbrauchte Säuremenge durch Titration bestimmt. Aus dem ermittelten Stickstoffgehalt wird mittels Umrechnungsfaktor das Rohprotein errechnet. /133/

7.8.3 Bestimmung des Stärkegehaltes

Die Bestimmung entsprach der DIN 10300 Blatt 1 nach EWERS.

Die in der Untersuchungsprobe enthaltene Rohstärke wird in heißer verdünnten Salzsäure gelöst. Nach Fällung störender Begleitstoffe wird die optische Drehung der Rohstärkelösung polarimetrisch gemessen und der Rohstärkegehalt der Probe aus dem Drehwinkel errechnet. /135/

7.8.4 Bestimmung des Mineralstoffgehaltes

Die Asche ist die Menge an Mineralstoffen im Getreide bzw. in den Mahlerzeugnissen. Das Prinzip der Methode beruht auf dem Veraschen eingewogener Untersuchungssubstanz bei 900 °C im Muffelofen. Die Menge der erkalteten Glührückstände wird zurückgewogen und auf die Trockensubstanz bezogen berechnet. /130/

7.8.5 Bestimmung des Feuchteanteils

Die Bestimmung des Feuchteanteils erfolgte nach ICC-Standard Nr. 110/1. Es wurde das Wäge- Trocknungsverfahren mit Hilfe des Feuchteabsolutbestimmers angewendet. Der Feuchteanteil wird hierbei unter definierten Bedingungen als Masseverlust des Gutes gemessen. /131/

7.8.6 Bestimmung des Rohfettanteils

Der Fettgehalt ist der nach der Extraktion mit Petroläther und Trocknung zurückbleibende Lösungsextrakt, der neben Fett auch andere etherlösliche Stoffe enthält. /134/

7.8.7 Bestimmung der spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME)

Die SME wird in dem systemanalytischen Modell als Energie definiert, die bei einer bestimmten Schneckendrehzahl auf ein Masseelement pro Zeiteinheit wirkt. Es wird davon ausgegangen, dass die Summe der mechanischen Kräfte, die entlang der Schneckenwellen auftritt, die sich aus dem Druck- und Schergradienten ergeben, in das Drehmoment des Antriebs eingehen (144).

Dieser Zusammenhang wird durch die Beziehung $SME = \frac{P}{m} \left(\frac{Wh}{kg} \right)$ beschrieben.

$$SME = \frac{Md * w}{m} \left[\frac{KWh}{Kg} \right]$$

Md = aufzubringende Drehmoment (Knm)

w = Winkelgeschwindigkeit (s⁻¹)

m = Massestrom (kg/h)

P = Leistung (W)

7.8.8 Bestimmung des Expansionsindexes

Der Expansionsindex ist eine Kennziffer zur Beschreibung des Volumenzuwachses des extrudierten Rohstoffes. Der Zuwachs wird durch das Verhältnis von Extrudatdurchmesser zu Düsendurchmesser des Extruderkopfes ausgedrückt. Die Angabe des berechneten Wertes erfolgt dimensionslos.

Die Bestimmung des Durchmessers wird mit einem Messschieber am unzerkleinerten Extrudat vorgenommen. Aus 10 Einzelbestimmungen wird der Mittelwert errechnet und mit dem Düsendurchmesser ins Verhältnis gesetzt. /144/

7.8.9 Bestimmung des Volumens

Die Volumen der Extrudate wurden durch das Prinzip der Volumenverdrängung ermittelt. Ein Teil der Extrudatproben wurde gewogen und zu diesem Zweck in einen mit Rapssamen gefüllten Messzylinder von 1 Liter Fassungsvermögen gegeben und die verdrängten Rapssamen gemessen. /144/

$$\text{Dichte} \left[\frac{g}{ml} \right] = \frac{\text{Extrudateinwaage}(g)}{\text{verdrängtes Volumen}(ml)}$$

7.8.10 Bestimmung des Sedimentvolumens

2 g Extrudat- Trockenmasse sind unter Rühren (mit einem Magnetrührer) in ein mit 30 ml destilliertem Wasser gefülltes 100-ml-Becherglas einzurieseln. Die Suspension wird quantitativ in einen graduieren Standzylinder überführt. Der Becher wird zwischendurch mit destilliertem Wasser nachgespült. Nach dem letzten Spülen wird der Standzylinder bis zur 80 ml Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Nach einer Abstehtzeit von 16-18 Stunden wird das Volumen des Sediments abgelesen sowie die Klarheit des Überstands nach einer Werteskala beurteilt. /144/ Die Angabe des Sedimentvolumens erfolgt in ml/g Extrudat (TS.) Die Klarheit des Überstandes wird von 1= klar bis 6= trübe visuell beurteilt.

7.8.11 Bestimmung der Kaltwasserlöslichkeit

Der Anteil der Probe, der unter den hier beschriebenen Versuchsbedingungen einen Rundfilter S&S 595, Durchmesser 110 mm passiert, wird als kaltwasserlöslich bezeichnet. Der auf dem Filterpapier verbleibende Rest wird als kaltwasserunlöslich bezeichnet. Um die Löslichkeit der Extrudate in kaltem Wasser zu untersuchen, werden 0,5 g Extrudat Trockenmasse in 50 ml destilliertem Wasser mit einem Magnetrührer 30 min lang bei Raumtemperatur gemischt. Danach soll die Suspension über ein vorgetrocknetes und ausgewogenes Filterpapier, welches auf eine Filternutsche gelegt und angefeuchtet wird, gegeben und mit rund 50 ml destilliertem Wasser nachgewaschen werden. Der Rückstand mit Filterpapier wird 90 min bei 130°C im Trockenschrank belassen und zurückgewogen (144).

$$\text{KWL}(\%TS) = \frac{100\% - \text{Rückstand}(g)}{\text{Einwaage}(g/TS) * 100\%}$$

8. Darstellung, Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse

8.1 Ergebnisse der Schälversuche

8.1.1 Darstellung der Ergebnisse

Nach der Durchführung der Versuche wurden die Antwortgrößen (Schälgrad, Mineralstoff-, Fett-, Stärke-, Protein- und Tanningehalt) ermittelt und in die Antwortmatrix eingetragen. Siehe Tabelle 21, 22 und 23

Tabelle 21: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte Seredo (* =% i. Tr.)

Probe Nr.	X ₁	X ₂	X ₃	Schälgrad*	Mineralstoff *	Fett *	Protein *	Stärke *	Tannin*
1	12	1	45	17,86	1,500	2,69	10,51	82,79	0,58
2	16	1	45	11,23	1,790	3,03	11,12	77,40	0,68
3	12	6	45	14,94	1,632	2,74	11,48	78,21	0,65
4	16	6	45	12,75	1,772	2,94	11,32	78,49	0,71
5	12	1	75	28,43	1,357	2,02	11,11	87,16	0,45
6	16	1	75	23,33	1,564	2,66	11,59	77,50	0,58
7	12	6	75	28,06	1,465	2,15	11,60	83,48	0,52
8	16	6	75	26,38	1,498	2,46	11,81	84,02	0,60
9	12	3,5	60	22,75	1,445	2,38	10,89	81,75	0,72
10	16	3,5	60	20,00	1,629	2,71	11,55	81,27	0,76
11	14	1	60	18,85	1,621	2,64	11,57	80,87	0,80
12	14	6	60	21,56	1,563	2,65	11,49	78,39	0,76
13	14	3,5	45	14,25	1,685	2,88	11,60	77,61	0,87
14	14	3,5	75	26,81	1,638	2,42	11,81	80,84	0,68

X₁ = Feuchtegehalt in %

X₂ = Abstehtzeit in h

X₃ = Schälzeit in s´

Mittels eines Statistikprogrammes wurden die Koeffizienten der Regressionsgleichungen berechnet. Mit diesem Programm wurde ebenfalls die Mehrfachoptimierung durchgeführt. Die so erhaltenen Regressionsgleichungen beschreiben die funktionellen Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und Antwortgrößen. Ausschlaggebend für ein gutes Schälergebnis dieser Versuche ist neben einem möglichst niedrigen Gehalt an Tannin eine hohe Gutausbeute (niedriger Schälgrad) mit einem niedrigen Mineralstoff- und Fettgehalt. Entsprechend dieser Ziele wurden für die Optimierung folgende Antwortgrößen ausgewählt (Tabelle

24). Nach der Optimierung wurden die Funktionen für den Schälversuch ermittelt. Diese ermittelten Werte für die einzelnen Sorten zeigen Tabellen 24, 25 und 26.

Tabelle 22: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte Birmash (* =% i.Tr.)

Probe Nr.	X ₁	X ₂	X ₃	Schälgrad*	Mineralstoff*	Fett*	Protein*	Stärke*
1	12	1	45	22,40	1,469	3,05	10,80	83,19
2	16	1	45	13,75	1,522	3,23	10,42	81,25
3	12	6	45	17,29	1,301	2,72	10,61	86,46
4	16	6	45	14,50	1,484	3,18	10,72	82,78
5	12	1	75	26,81	1,241	2,66	10,49	85,19
6	16	1	75	26,25	1,382	2,78	10,46	80,63
7	12	6	75	29,70	1,193	2,33	10,38	84,01
8	16	6	75	25,13	1,432	2,89	10,84	79,12
9	12	3,5	60	19,66	1,337	2,50	10,46	82,83
10	16	3,5	60	20,00	1,497	3,06	10,72	78,45
11	14	1	60	17,84	1,460	2,57	10,49	80,78
12	14	6	60	22,50	1,336	2,76	10,48	81,75
13	14	3,5	45	15,19	1,382	3,17	10,50	76,83
14	14	3,5	75	29,55	1,222	2,30	10,46	85,56

Tabelle 23: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte AL70 (* =% i.Tr.)

Probe Nr.	X ₁	X ₂	X ₃	Schälgrad*	Mineralstoff*	Fett*	Protein*	Stärke*
1	12	1	45	8,00	1,23	3,48	12,00	82,60
2	16	1	45	9,00	1,37	3,69	13,00	81,50
3	12	6	45	10,00	1,17	3,18	12,70	82,20
4	16	6	45	9,00	1,37	3,76	13,10	79,50
5	12	1	75	16,00	1,05	2,74	12,90	85,90
6	16	1	75	18,00	1,15	3,19	12,70	82,70
7	12	6	75	17,00	1,03	2,89	12,60	83,40
8	16	6	75	17,00	1,14	3,22	13,00	83,60
9	12	3,5	60	15,00	1,07	3,02	13,20	85,60
10	16	3,5	60	14,00	1,16	3,73	12,90	81,80
11	14	1	60	11,00	1,26	3,55	13,00	78,50
12	14	6	60	13,00	1,21	3,72	13,30	80,30
13	14	3,5	45	10,00	1,28	3,62	12,90	79,60
14	14	3,5	75	18,00	1,10	3,02	12,70	83,60

Tabelle 24: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo (Einzeloptimierung)

Antwortgröße	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Schälgrad	21,0	-1,835	0,399	6,198	0,983	0	0,51	0	-0,613	0
Mineralstoff	1,603	0,085	0	-0,0857	-0,040	-0,024	0	-0,076	0	0,048
Fett	2,634	0,182	0	-0,257	-0,058	0,051	0	-0,077	0	0,27
Protein	11,6	0,18	0,18	0,189	-0,13	0	0	-0,357	0	0,127
Stärke	79,4	-1,471	0	1,85	1,983	-0,501	0,792	1,779	0	0
Tannin	0,849	0,041	0,015	-0,066	0	0	0	-0,109	-0,069	-0,074

X_1 = Feuchtegehalt in %

X_2 = Abstehtzeit in h

X_3 = Schälzeit in s

Tabelle 25: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70 (Einzeloptimierung)

Antwortgröße	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Schäl-Grad	13,8	0	0,4	4,0	-0,5	0,25	-0,25	0,807	-1,692	0
Mineralstoff	1,176	0,064	-0,014	-0,095	0,009	-0,0165	0	-0,060	0,059	0,0147
Fett	3,351	0,228	0	-0,267	0	0	0,0512	-0,155	0,104	-0,210
Protein	13,1	0,130	0,11	0	0	-0,15	-0,1	0	0	-0,34
Stärke	81,2	-1,06	0	1,38	0	0	0	2,823	-1,476	0

Tabelle 26 : Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash

(Einzel Optimierung)

Antwort Größe	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Schäl-Grad	20,0	-1,623	0	5,431	0	0	0	0	0	2,057
Mineral-Stoff	1,369	0,078	-0,033	-0,688	0,0295	0,018	0,026	0,047	0,0285	-0,675
Fett	2,7	0,188	0	-0,239	0,09	0	0	0,14	0	0
Protein	10,5	0,034	0,029	-0,05	0,132	0,097	0,03	0,115	0	0
Stärke	81,0	-1,945	0	0	0	0	-0,936	0	0	1,649

Zur Erstellung der Variationsanalyse für die Sorten Seredo, Birmash und AL70 wurde die Kombination der Einflussgrößen, welche sich aus den Mehrfachoptimierungsberechnungen ergaben, genutzt (Tabelle 28, 29 und 30).

Tabelle 27: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen

Sorte	Antwortgrößen in %	Idealwert	Negativwert
Seredo	Schälgrad	11,0	28,5
	Tanningehalt	0,45	0,870
AL70	Schälgrad	8	18
	Fettgehalt	2,7	3,8
	Stärkegehalt	86	78,5
Birmash	Schälgrad	13,75	30
	Fettgehalt	2,3	3,3
	Stärkegehalt	76,8	86,6

Tabelle 28: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	16
X_2	Abstehzeit	h	3,5
X_3	Schälzeit	s	59

Tabelle 29: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	12
X_2	Abstehzeit	h	3,5
X_3	Schälzeit	s	59

Tabelle 30: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	13
X_2	Abstehzeit	h	4
X_3	Schälzeit	s	59

Letztlich wurden Variationsanalysen durchgeführt, bei denen eine Einflussgröße x_i variiert, während die anderen konstant gehalten werden, und es wurden die Veränderungen der Antwortgrößen aufgezeichnet. Auf diese Weise wird die tatsächliche Wirkung der Einflussgröße auf die Zielgröße sichtbar (Abb. 5 – Abb. 22).

8.1.1.1 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Schälgrad

Bei der Sorte Saredo übten der Feuchtegehalt und die Schälzeit den größten Einfluss auf den Schälgrad aus (Abb. 5 u. 7). Bei zunehmendem Feuchtegehalt nahm der Schälgrad deutlich ab, bei längerer Schälzeit nimmt der Schälgrad logischerweise zu. Die Wirkung der Abstehtzeit (Abb.6) ist bezüglich der des Feuchtegehaltes und der Schälzeit sehr gering. Die in diesem Versuch ausgewählten Abstehtzeiten bewirkten nur ca. 1% Schälgradveränderungen.

Bei der Sorte AL70 hat der Feuchtegehalt in der durchgeführten Versuchsreihe einen geringeren Einfluss. Der Schälgrad verringerte sich von 19,5 auf 13,5 % bei einem steigendem Feuchtegehalt von 8,5 bis 14%. Ab einem Feuchtegehalt von 14 % stieg der Schälgrad an. Die höhere Feuchte bewirkte eine Spannung zwischen der Schale und dem Endosperm und ermöglichte eine leichte Trennbarkeit der Schale von dem Endosperm. Die Schälzeit übte einen linearen Einfluss auf den Schälgrad aus. Es war deutlich sichtbar, dass eine längere Schälzeit einen höheren Schälgrad bewirkte (Abb. 7)

Bei der Sorte Birmash wurde der Schälgrad durch den Parameter Feuchte besonders beeinflusst. Die Steigerung des Feuchtegehaltes verminderte die starke Beanspruchung der Körner in der Schälmaschine und hatte eine Abnahme des Schälgrades zur Folge (Abb.5.) Die längere Schälzeit verursachte einen höheren Schleifmehlanfall und dadurch eine Steigerung des Schälgrades (Abb. 7). Die Abstehtzeit übte keinen Einfluss auf den Schälgrad aus (Abb. 6).

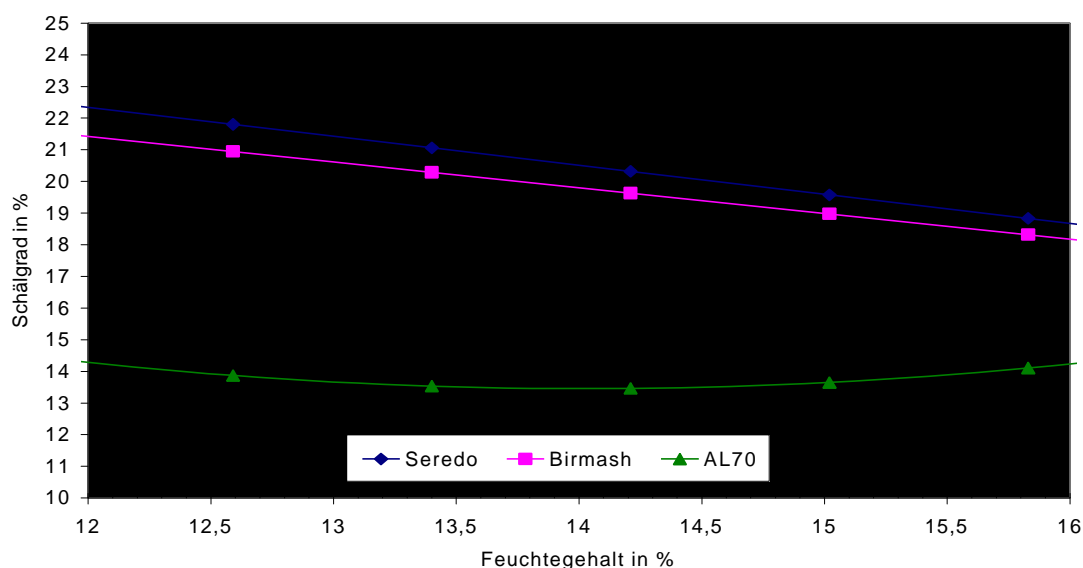


Abbildung 5: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum

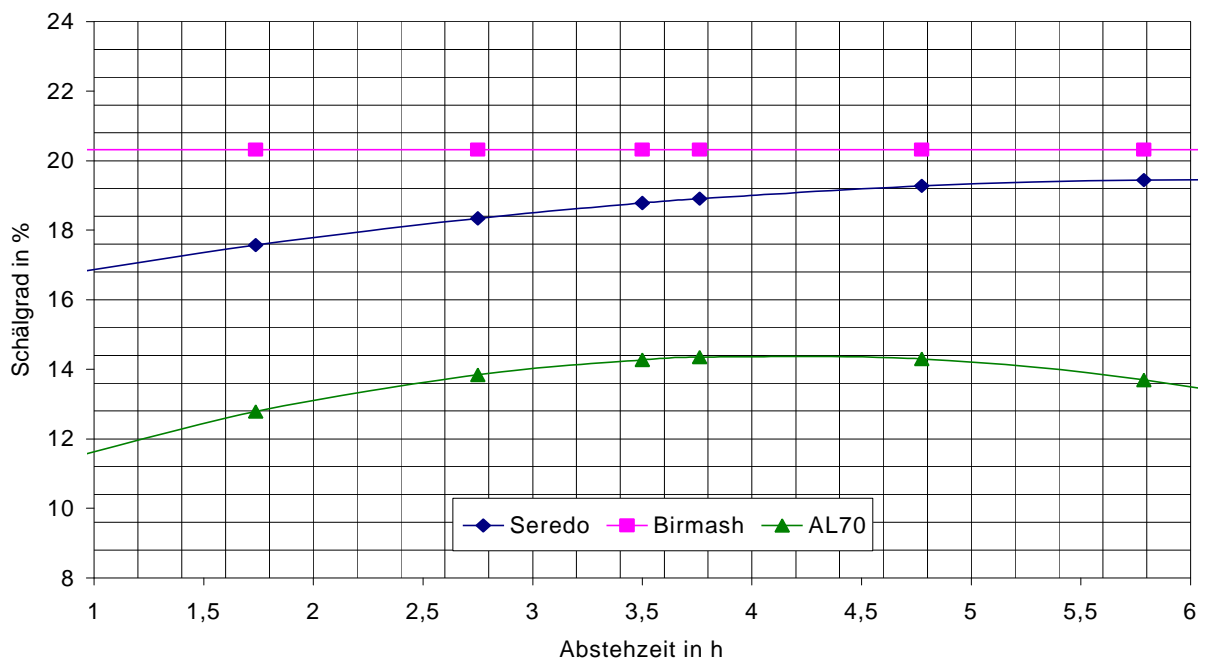


Abbildung 6: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Abstehzeit am Optimum

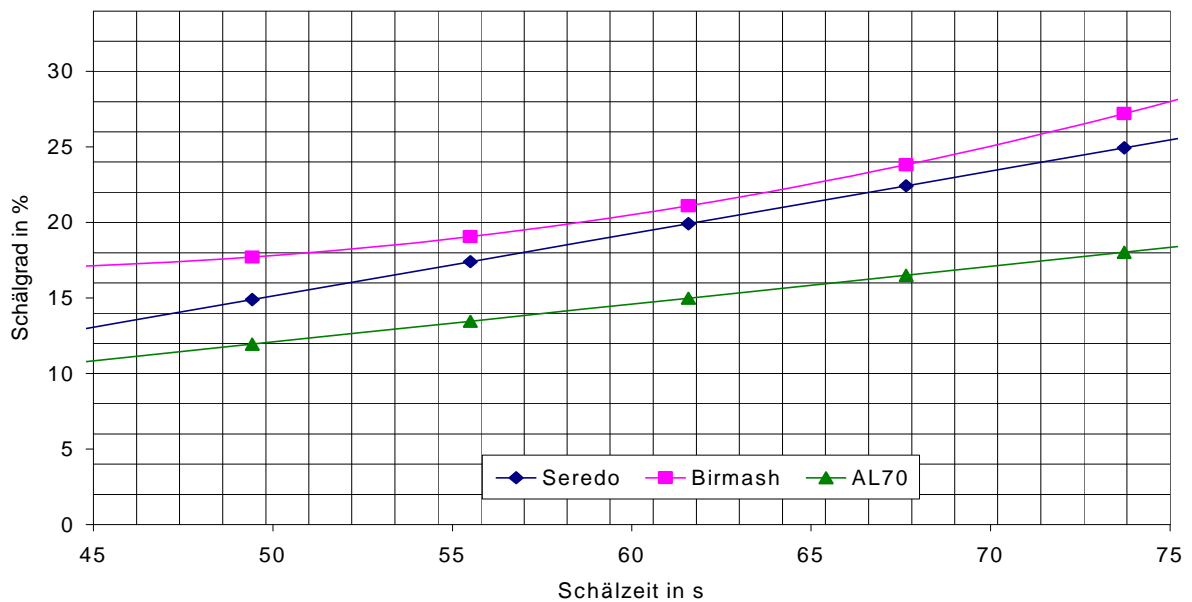


Abbildung 7: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.2 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt

Den stärksten Einfluss auf den Mineralstoffgehalt der geschälten Körner der Sorte Seredo hat der Feuchtegehalt. Mit steigendem Feuchtegehalt erhöht sich der Mineralstoffgehalt. Der Mineralstoffgehalt hängt auch von dem abgetrennten Schalemengen (Schälgrad) ab. Mit steigender Feuchte (Abb. 8) nahm der Schälgrad ab, demzufolge liegt der Aschegehalt feuchterer Körner auch höher. Die Schälzeit hat zwar einen positiven Effekt, aber in sehr geringem Maße. Die Abstehtzeit spielt eine unbedeutende Rolle. Ihre Wirkung veränderte die Werte um weniger als 0,1 %.

Bei der Sorte AL70 hat die Schälzeit den stärksten Einfluss auf den Mineralstoffgehalt. Bei Erhöhung der Schälzeit nehmen die Mineralstoffwerte ab. Eine entgegengesetzte Wirkung zeigt der Feuchtegehalt der zu schälenden Körner auf den Mineralstoffgehalt. Mit Erhöhung des Feuchtegehaltes steigen die Mineralstoffwerte der geschälten Körner von 1,04 % i.Tr. bei 10 % Feuchtegehalt auf 1,2 % i.Tr. bei einer Feuchte von 16 %. Die längere Abstehtzeit zeigte zwar steigende Mineralstoffwerte, aber in sehr niedrigem Umfange. Den stärksten Einfluss auf den Mineralstoffgehalt bei der Sorte Birmash hat wie bei der Sorte Seredo der Feuchtegehalt. Bei Erhöhung des Feuchtegehaltes erhöhen sich die Mineralstoffwerte. Die Schälzeit wirkte als zweiter Parameter auf die Mineralstoffwerte. Längere Schälzeiten bedeuten eine Abnahme des Mineralstoffgehaltes. Die Abstehtzeit zeigte keinen eindeutigen oder nennenswerten Einfluss.

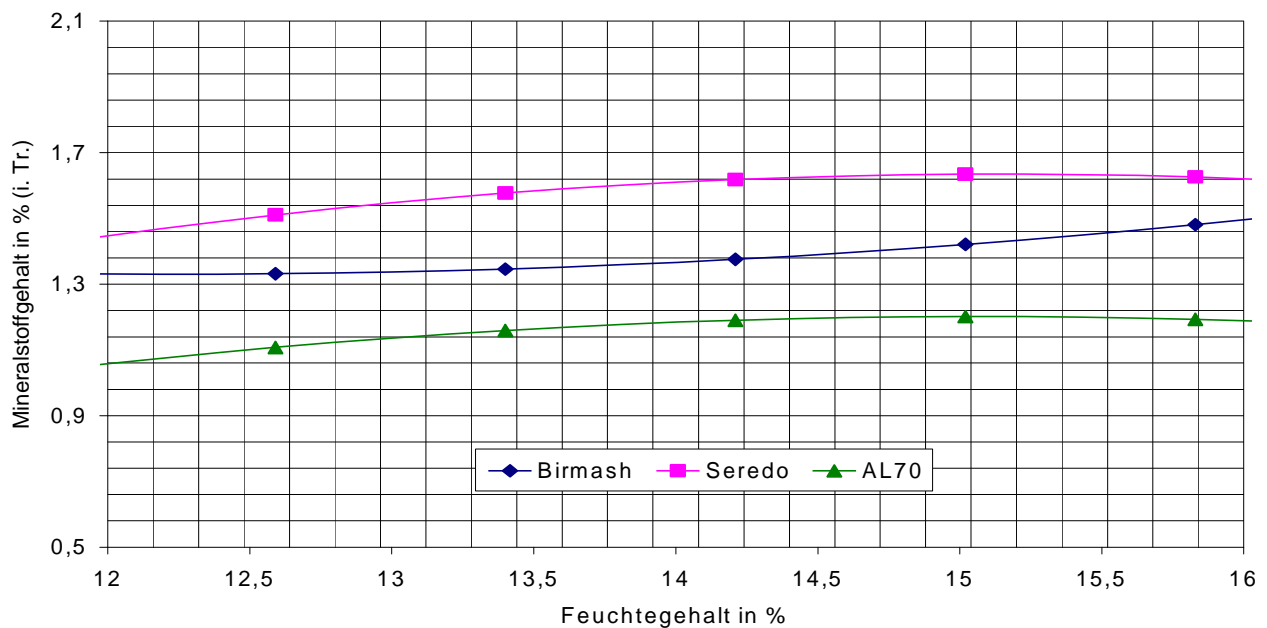


Abbildung 8: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum

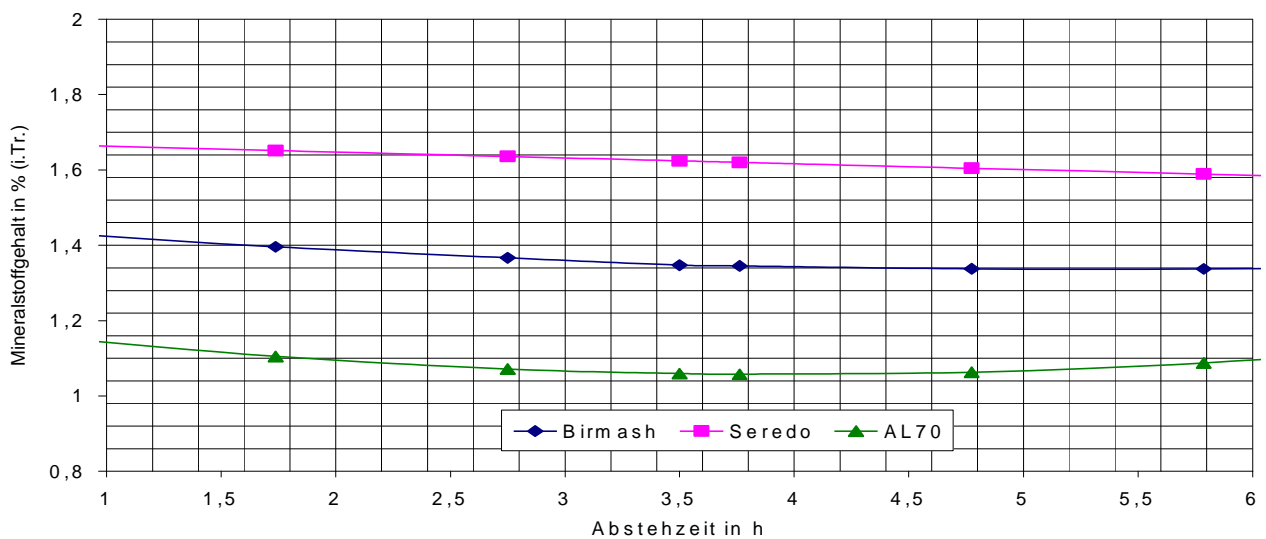


Abbildung 9: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstezeit am Optimum

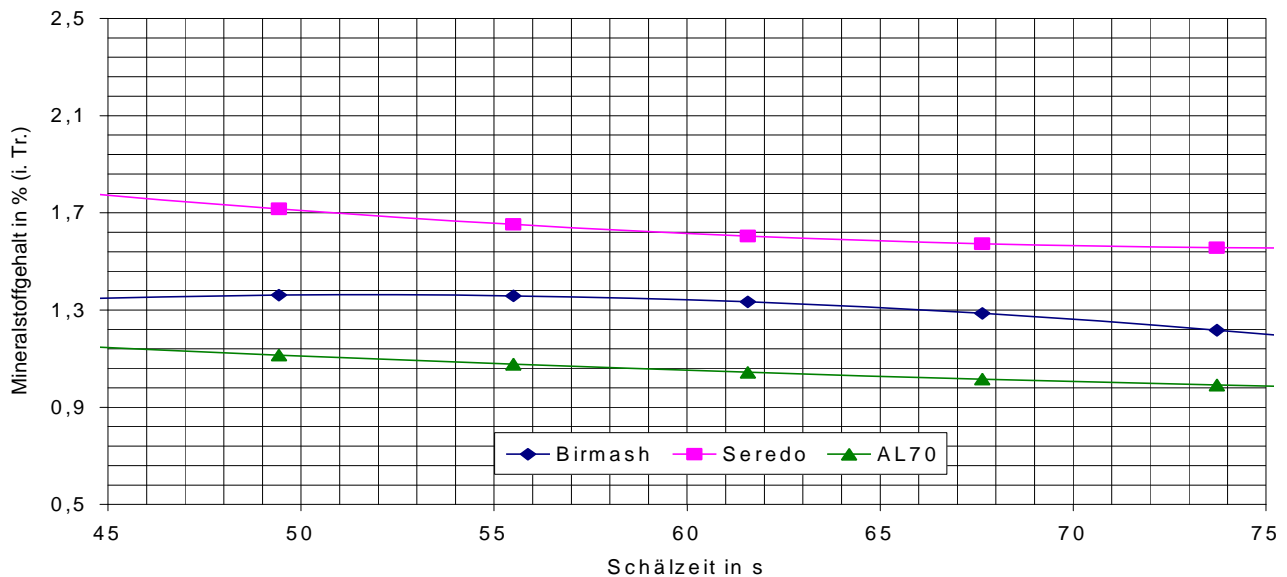


Abbildung 10: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.3 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt

Bei der Sorte Seredo üben der Feuchtegehalt und die Schälzeit den größten Einfluss auf den Fettgehalt aus. Mit zunehmender Feuchte nahmen der Fettgehalt wie auch der Mineralstoffgehalt zu. Bei einer längeren Schälzeit dagegen nahm der Fettgehalt ab. Die Abstehtzeit spielte auch hier nur eine geringfügige Rolle. Es kann eine Korrelation zwischen Mineralstoff- und Fettgehalt beobachtet werden. Die gemessenen und errechneten Werte des Fettgehaltes bei der Sorte AL70 verhalten sich wie der Mineralstoffgehalt. Auch hier übt die Schälzeit die entscheidende Rolle aus. Bei der Versuchsdurchführung konnte der Fettgehalt der geschälten Körner bis um 38 % reduziert werden. Eine Steigerung des Feuchtegehaltes bewirkte eine Zunahme des Fettgehaltes. Mit niedrigerem Feuchtegehalt konnte eine bessere Trennung des Keimes und der fetthaltigen Schalenschichten erzielt werden. Die Abstehtzeit spielte auch hier nur eine geringfügige Rolle. Der Fettgehalt der geschälten Körner der Sorte Birmash nahm mit steigendem Feuchtegehalt zu. Die Abstehtzeit übte keinen Einfluss auf den Fettgehalt aus. Die Erhöhung der Schälzeit von 40 s auf 80 s bewirkte eine Reduzierung des Fettgehaltes auf 2,4 % i.Tr.

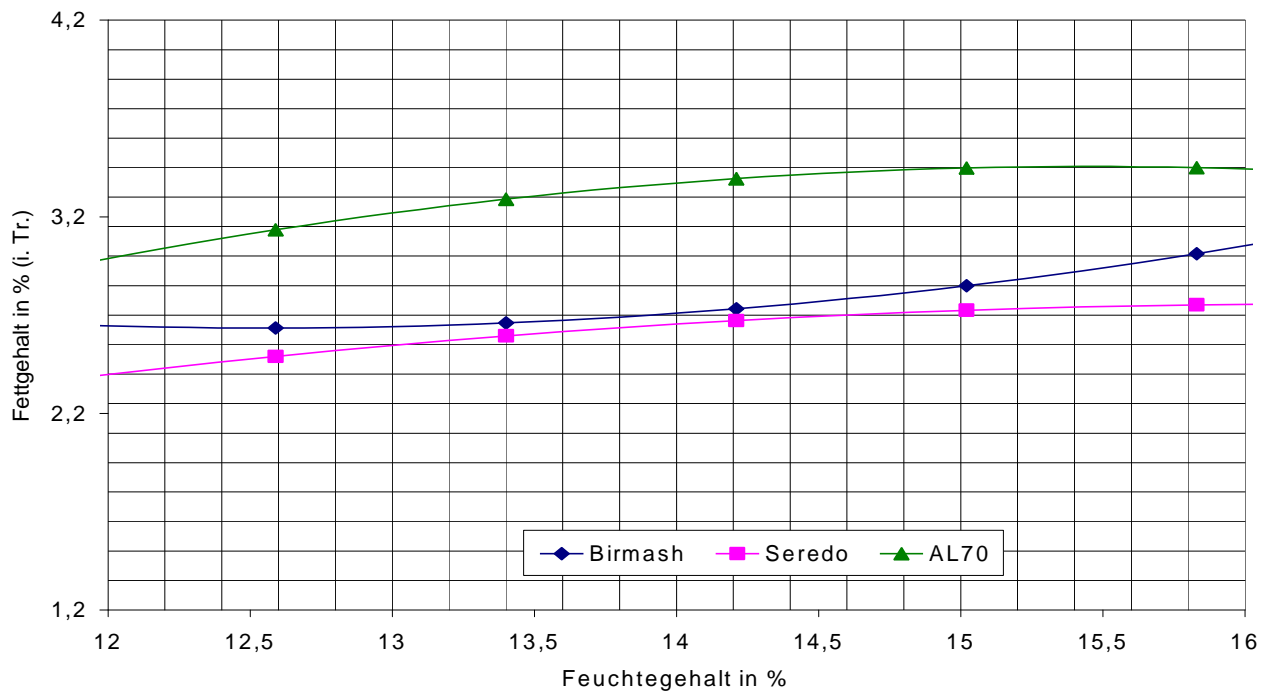


Abbildung 11: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum

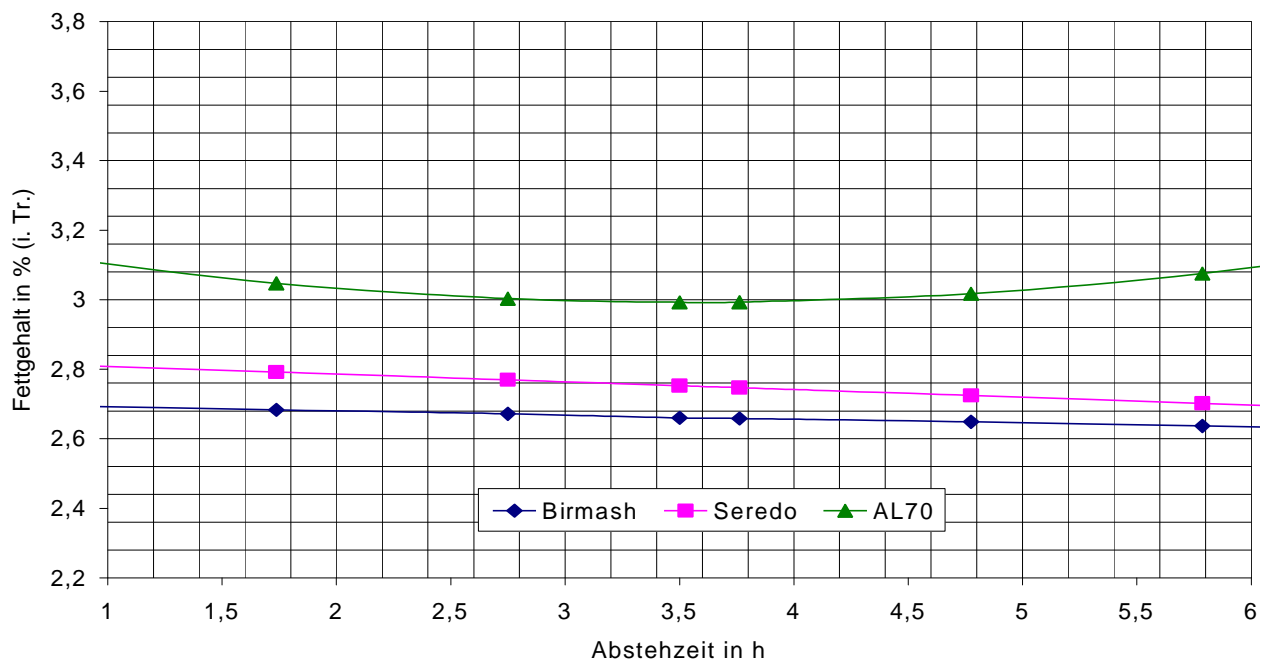


Abbildung 12: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstezeit am Optimum

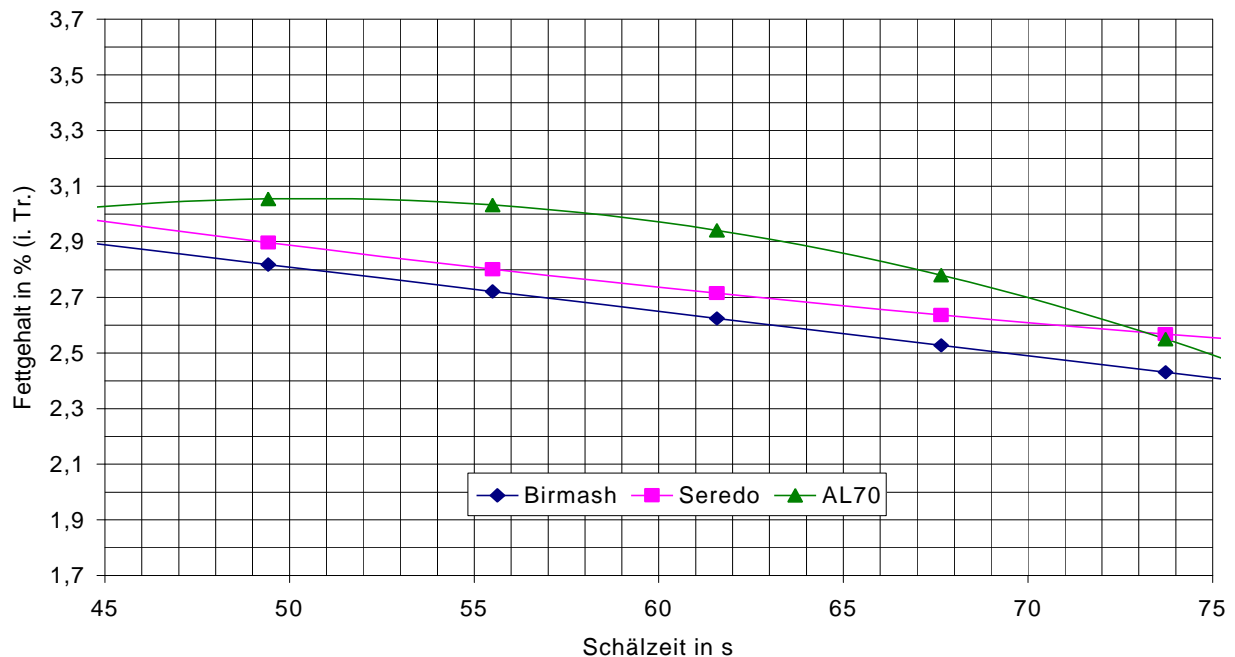


Abbildung 13: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.4 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt

Der Rohproteingehalt der geschälten Körner der Sorte Seredo nahm mit höherer Verarbeitungsfeuchte zu. Nach dem Feuchtegehalt ist die Schälzeit der zweitwichtigste Parameter. Eine längere Schälzeit erhöhte ebenfalls den Proteingehalt. Die Abstehtzeit hatte keinen nennenswerten Einfluss auf den Proteingehalt.

Der Proteingehalt der Sorte AL70 wurde von den Parametern Feuchtegehalt und Abstehtzeit innerhalb des Versuchsraums unwesentlich beeinflusst. Eine Zunahme des Feuchtegehaltes und der Abstehtzeit steigerte den Wert dieser Antwortgröße um 0,5 %. Eine längere Schälzeit steigerte den Proteingehalt ebenfalls um 0,5 %. Der Proteingehalt der Sorte Birmash wurde von allen Parametern kaum beeinflusst. Eine Zunahme des Feuchtegehaltes im Versuchsraum steigerte den Wert dieser Antwortgröße nur um 0,5 %. Eine längere Schäl- und Abstehtzeit hatte einen leichte Minimierung des Proteingehaltes zur Folge.

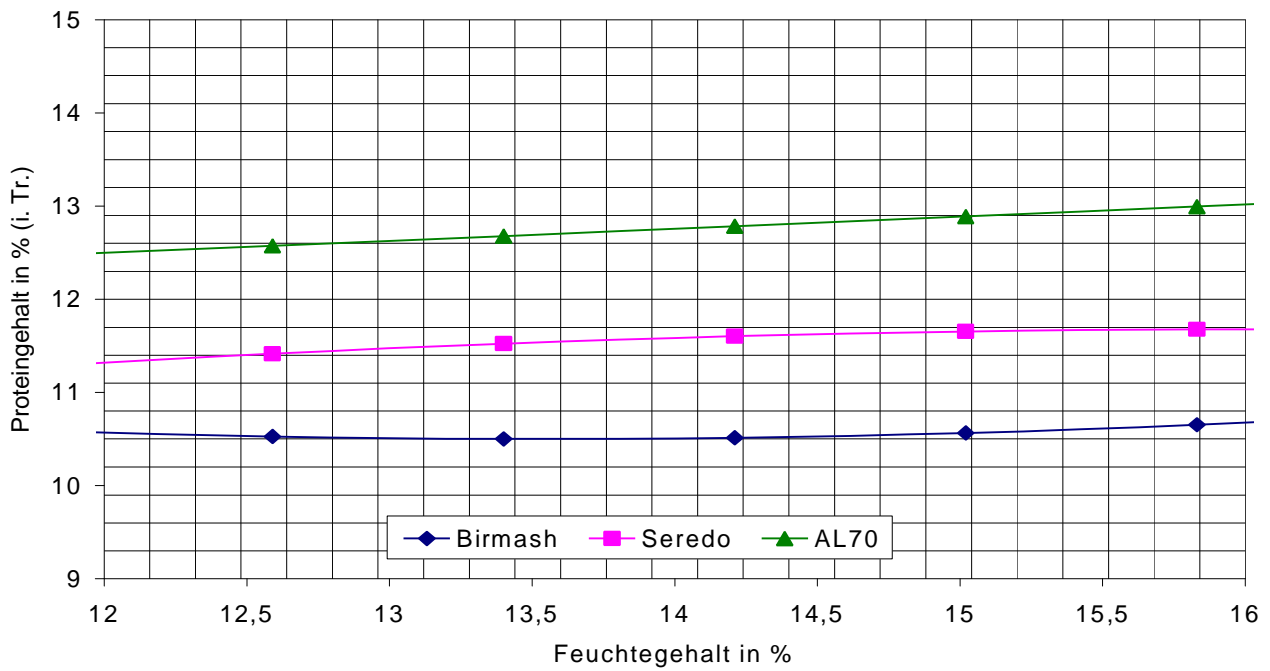


Abbildung 14: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum

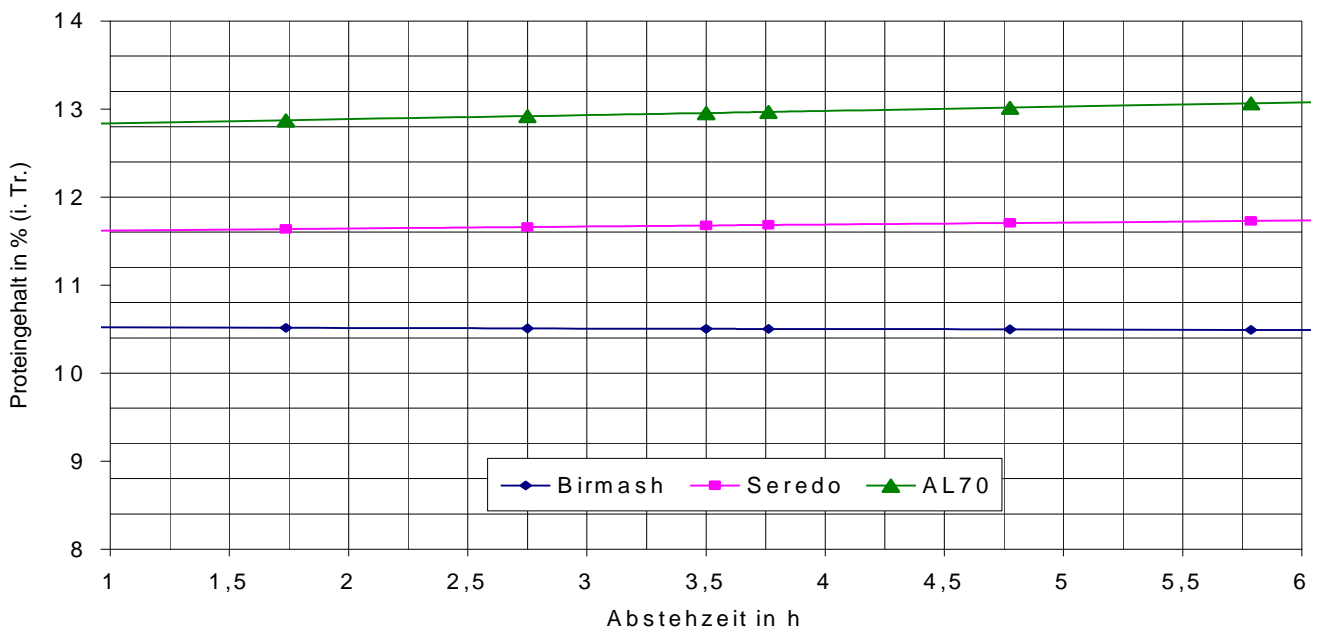


Abbildung 15: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

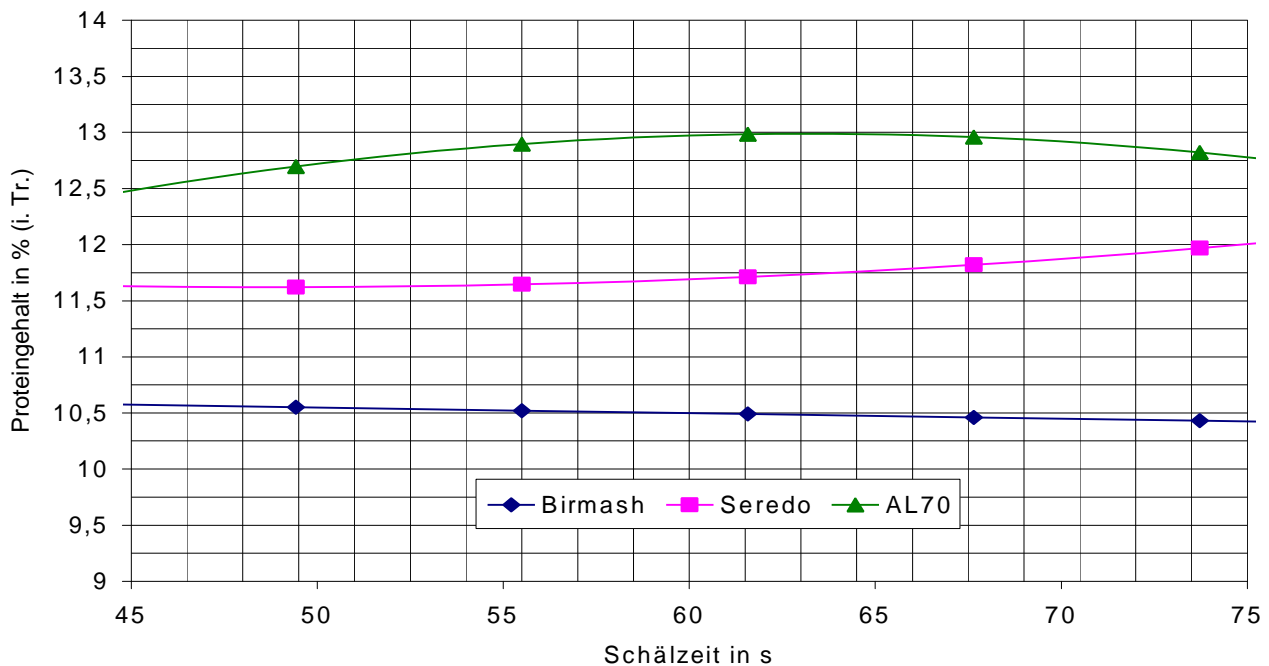


Abbildung 16: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.5 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt

Die Stärke befindet sich im Mehlkörper. Der Entferungsgrad der Schale zum Endosperm hat logischerweise eine Veränderung des Stärkegehaltes im geschälten Produkt zur Folge. Bei der Sorte Seredo nahm bei längeren Schäl- und Abstehtzeiten der Stärkegehalt bis um 4% zu. Im Gegensatz zu der Schäl- und auch Abstehtzeit minderte ein höherer Feuchtegehalt innerhalb des Versuchsraumes den Stärkegehalt um 4 % i.Tr. Die Schälzeit hat bei der Ermittlung dieser Antwortgröße den größten Einfluss. Bei einer starken Beanspruchung des Kornes auf Grund der längeren Schälzeit konnte der Stärkegehalt im geschälten Material linear steigen. Eine Verlängerung der Abstehtzeit bei der Sorte AL 70 reduzierte den Stärkegehalt ebenfalls um bis 4% i.Tr. Die Erhöhung des Feuchtegehaltes auf 14% minderte den Stärkegehalt, wobei ab 14 % Feuchte der Gehalt anstieg. Der Feuchtegehalt und die Schälzeit haben bei der Ermittlung dieser Antwortgröße der Sorte Birmash den größten Einfluss. Bei einem höheren Feuchtegehalt nimmt der Stärkegehalt wie bei der Sorte Seredo ab. Die Erhöhung der Schälzeit bis zu 60 s minimierte den Stärkegehalt um etwa 2,5 % und ab 60 s kam es zu einer sichtbaren Erhöhung des Stärkegehaltes um etwa 2,3 %. Die Abstehtzeit übte keinen Einfluss aus.

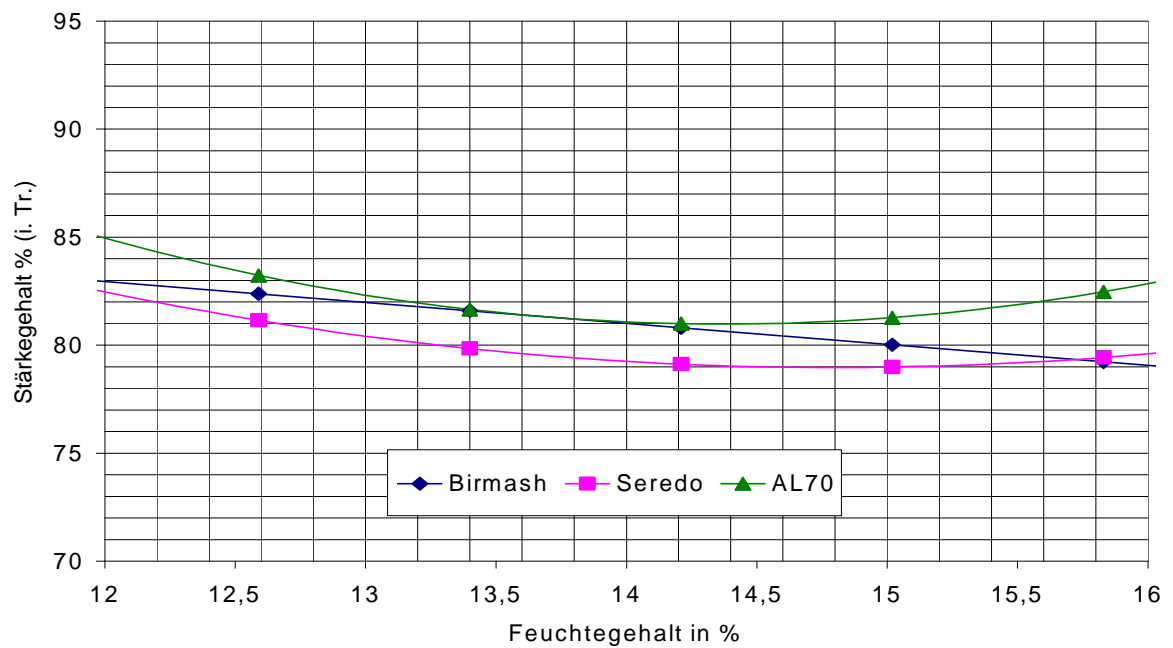


Abbildung 17: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum

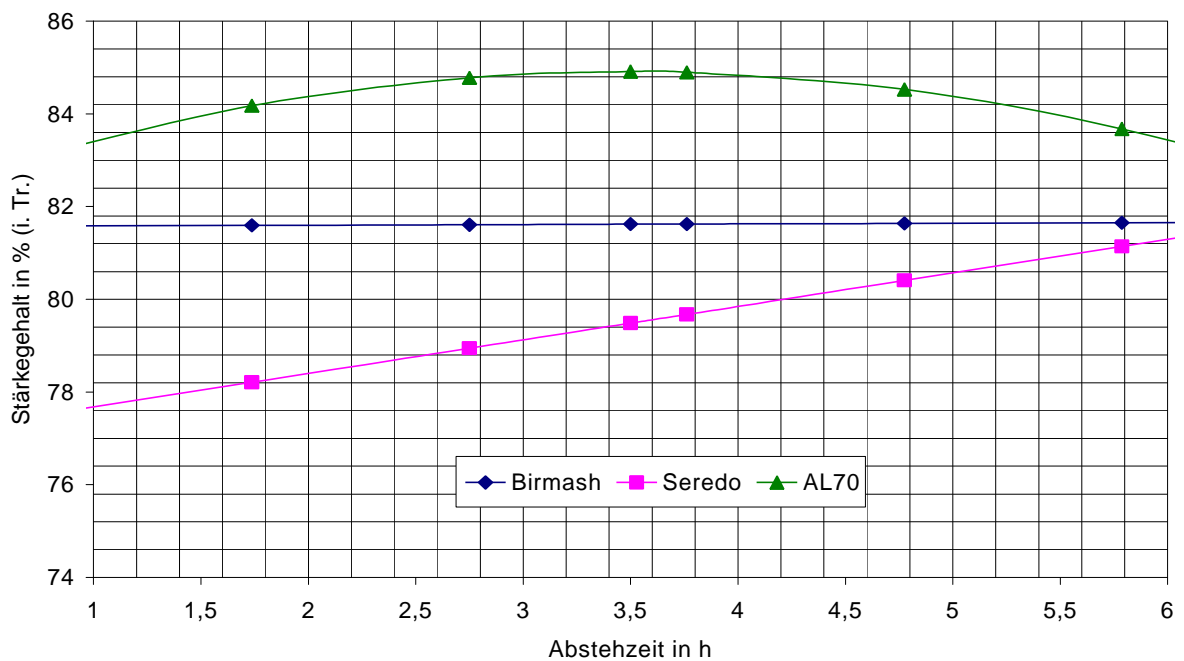


Abbildung 18: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

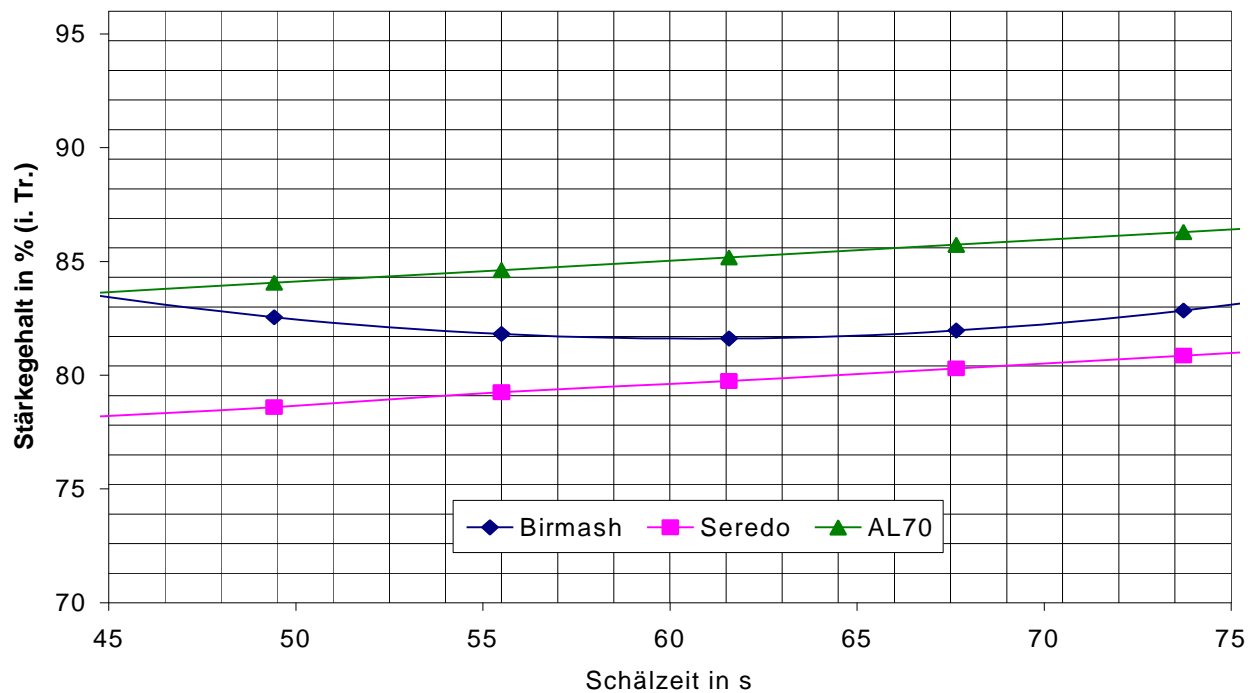


Abbildung 19: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.6 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt

Tannin ist in den Randschichten, hauptsächlich in der Testa lokalisiert. Der Tanningehalt des geschälten Materials wird besonders durch den Schälgrad beeinflusst. Daher spielt die Schälzeit eine große Rolle. Bei Erhöhung der Schälzeit von 40 auf 80 Sekunden fallen die Tanninwerte um 0,2 % ab. Schälzeiten über 60 Sekunden senken beträchtlich den Tanningehalt. Die Abstehtzeit hatte geringen Einfluss auf den Tanningehalt. Der Feuchtegehalt hatte im Vergleich zu den beiden anderen Einflussparametern nur geringe Bedeutung. Feuchten bei etwa 14 % ergeben den höchsten Tanningehalt. Niedere und höhere Feuchten ergeben etwa 0,1 % geringere Tanningehalte.

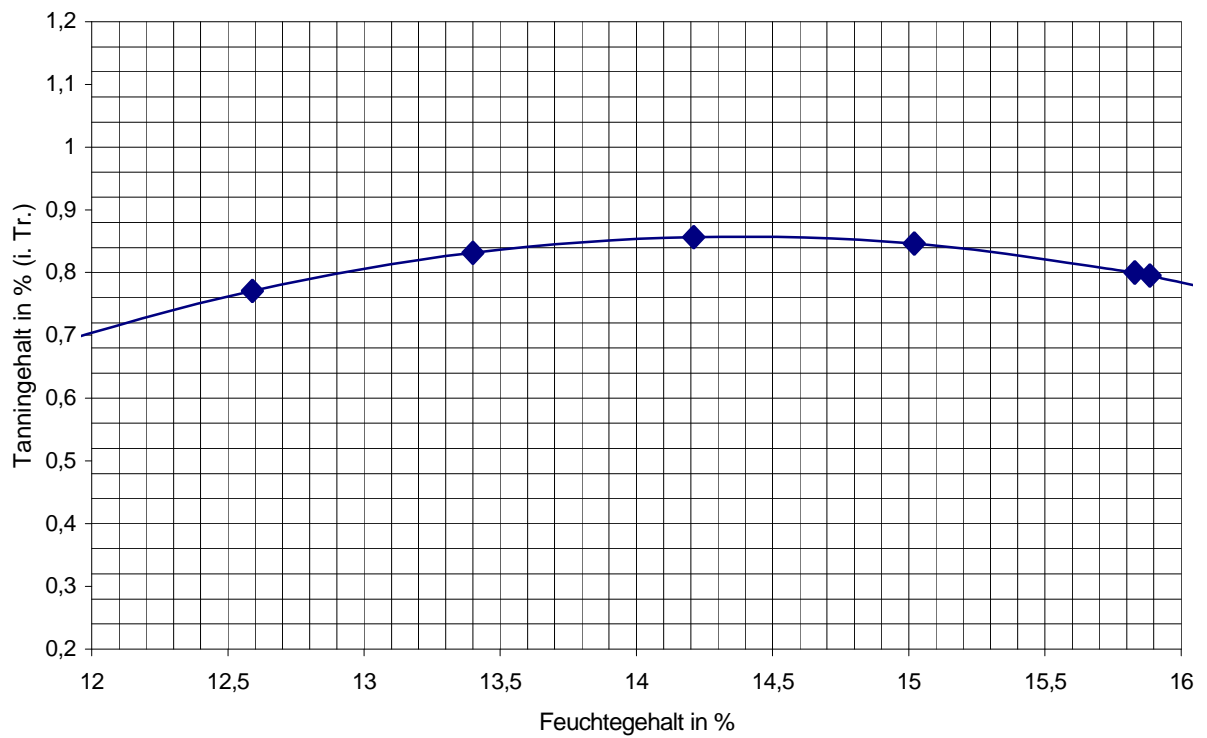


Abbildung 20: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Feuchte am Optimum

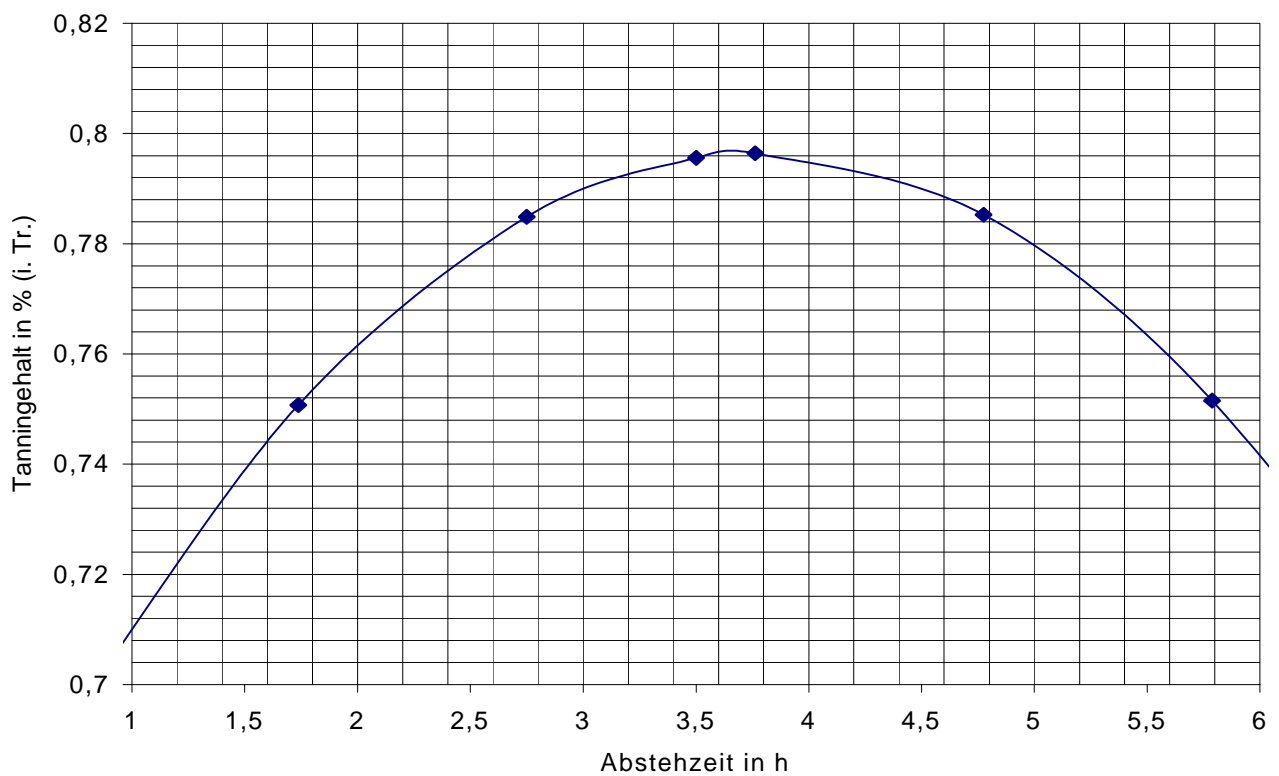


Abbildung 21: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehzeit am Optimum

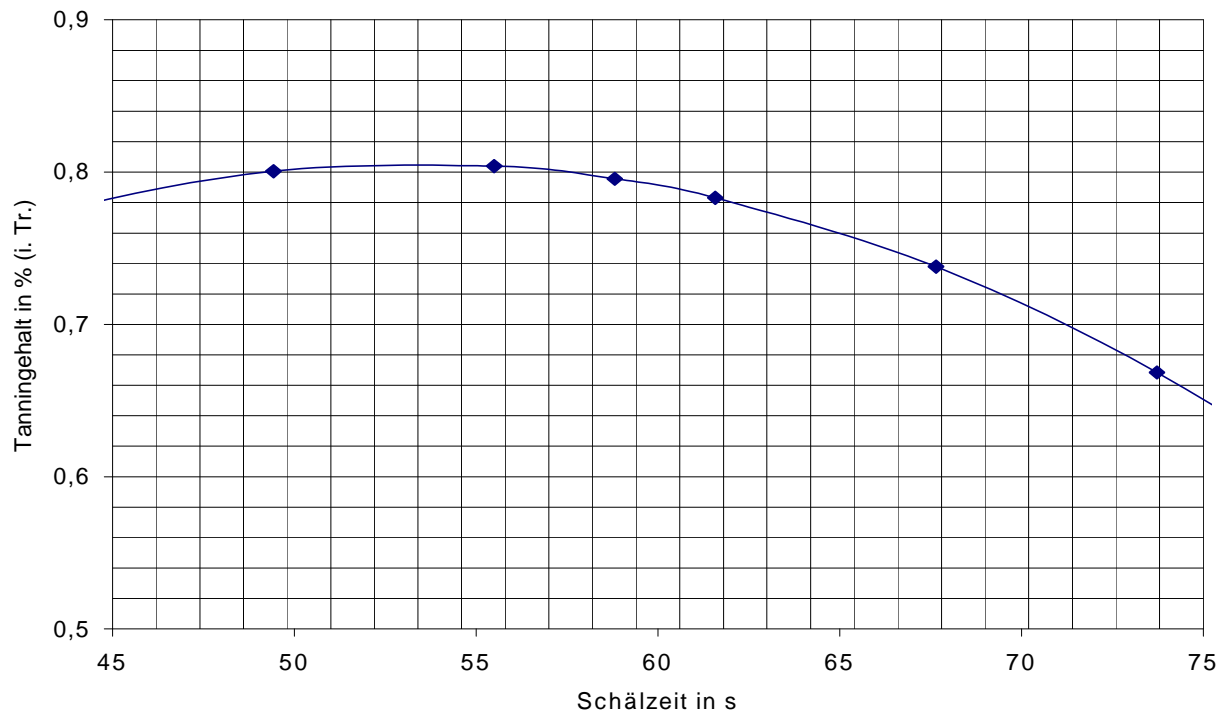


Abbildung 22: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Schälzeit am Optimum

8.1.1.7 Diskussion der Ergebnisse aus der Schälversuche

Die Aufgabe des Schälens bestand darin, eine möglichst vollständige Trennung der Schalenteile des Sorghumkornes vom Endosperm zu erreichen, ohne das Endospermverluste durch Abrieb entstehen. Um diese Forderungen zu erfüllen, sind die konstruktive Besonderheiten der Schälmaschine, die Bearbeitungszeiten und die physikalischen Merkmale des Sorghumkornes aufeinander abzustimmen. Ein höherer Feuchtegehalt kombiniert mit einer kürzeren Abstehtzeit führte zur leichten Verschmierung der Sieböfnungen und der Schleifsteine. Wegen der verringerten Teilchenreibung der Sorghumkörner während des Schälvorgangs konnte ein vollständiges Schälen der Körner nicht erreicht werden.

In den Versuchen konnten bei der Sorte Seredo bis zu 80 % des gesamten Tanningehaltes und etwa 43 % des gesamten Fettgehaltes entfernt werden. Der Mineralstoffgehalt veränderte sich nur wenig. Eine längere Schälzeit verursachte erwartungsgemäß einen höheren Schälgrad. Dem konnte durch Erhöhung des Feuchtegehaltes entgegengewirkt werden. Der Tanningehalt lag bei allen Sorten und Verfahren unter 1 %. Dabei hatten die geschälten Körner relativ hohe Stärke- und Proteingehalte. Trotz Erhöhung des Schälgrades, der zu einer niedrigeren Ausbeute führt, zeigte die Qualität der geschälten Körner keine nennenswerten

Veränderungen. Deshalb ist das Schälen der Sorte Seredo mit einem niedrigeren Feuchtegehalt sowie einer kurzen Absteht- und Schälzeit zu empfehlen.

Bei der Sorte Birmash konnten fast 42 % des gesamten Fettgehaltes entfernt werden. Proteingehalt und Mineralstoffgehalt zeigten in den geschälten Körnern keine nennenswerten Änderungen. Außerdem konnte ein relativ höherer Anteil im Stärkegehalt gemessen werden. Durch die Kombination aller Parameter konnten Produkte mit höherer Qualität und Ausbeute hergestellt werden.

Auf Grund seines relativ weichen Endosperms lag beim Schälen dieser Sorte mit einem niedrigeren Feuchtegehalt (12 %) und kurzer Abstehtzeit (1 h) der Schälgrad relativ hoch. Ein hoher Schälgrad fällt auch bei einer längeren Schälzeit und längerer Abstehtzeit an. Da dies zu einem höheren Schleifmehlanfall führt (ohne nennenswerte inhaltsstoffliche Veränderungen) und die Verluste an Ausbeute höher liegen, wird auch für diese Sorte eine Behandlung der Körner mit kurzer Absteht- und Schälzeit sowie einem höheren Feuchtegehalt empfohlen.

Auf Grund seiner Kornhärte ließ sich die Sorte AL70 mit dem Schälaggregat schonend bearbeiten. Der Schälgrad fiel weit niedriger als bei den Sorten Seredo und Birmash aus. Der Fettgehalt wurde bis zu etwa 46 % entfernt. Die Stärke- und Proteingehalte erhöhten sich um 7 % bzw. 12 %. Der Mineralstoffgehalt wurde um etwa 30 % gesenkt. Durch Verwendung mehrerer Kombinationsmöglichkeiten der Parameter lässt sich diese Sorte mittels Schälmaschine gut verarbeiten. Um möglichst wenig Wasser zu verbrauchen und damit die Kontaminationsgefahr zu minimieren, ist das Schälen dieser Sorte mit einem niedrigen Feuchtegehalt und einer kurzen Abstehtzeit durchzuführen. Die ausgewählten Parameter wirken unterschiedlich und bekräftigen das Anliegen dieser Arbeit, die das Ziel hat, mit relativ niedriger Wasserzugabe und kurzen Abstehtzeiten ein Qualitätsprodukt herzustellen.

8.2 Mahlergebnisse der Prallzerkleinerung

8.2.1 Darstellung der Ergebnisse

Nach der Prallzerkleinerung sind die quantitativen und qualitativen Antwortgrößen ermittelt worden. Als quantitative Antwortgröße wurde die Ausbeute $< 630 \mu\text{m}$ ausgewählt und daraus die qualitativen Antwortgrößen ermittelt. Nach der Ermittlung und Eintragung in die Antwortmatrix (siehe Tabelle 31,32 und 33) erfolgte die Berechnung der Koeffizienten der Regressionsgleichung.

Am Ende erfolgte die Berechnung der Funktion für jede Antwortgröße. (Tabellen 34,35 und 36).

Danach sind die Ergebnisse optimiert worden. Für die Mehrfachoptimierung wurden nach mehreren Vergleichen die Antwortgrößen in Tabelle 34 ausgewählt. Nach der Auswahl der Ideal- und Negativwerte und der Berechnung der Funktionen erfolgte die Berechnung der optimalen Parameter (siehe Tabelle 38, 39 und 40).

Tabelle 31: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte Seredo

Probe Nr.	X_1	X_2	X_3	Ausbeute in %	Mineralstoff in %	Fett in %	Protein in %	Stärke in %	Tannin in %
1	13	20	70	70,65	2,08	2,93	14,97	69,04	0,973
2	17	20	70	59,73	2,07	3,23	14,69	73,21	0,612
3	13	60	70	71,49	2,07	3,18	14,79	66,97	0,958
4	17	60	70	59,69	1,96	2,91	14,81	70,00	0,658
5	13	20	110	77,49	1,31	2,82	15,25	66,37	0,895
6	17	20	110	79,25	1,33	2,77	15,91	67,18	0,865
7	13	60	110	89,59	2,05	2,91	15,66	65,98	0,977
8	17	60	110	81,90	2,00	2,79	15,93	70,40	0,732
9	13	40	90	80,74	2,07	2,85	15,83	68,28	0,963
10	17	40	90	72,07	2,05	2,94	16,04	69,47	0,774
11	15	20	90	73,83	1,98	2,84	15,73	67,04	0,855
12	15	60	90	75,85	1,96	2,78	15,81	68,75	0,905
13	15	40	70	62,53	1,98	2,99	15,13	68,05	0,847
14	15	40	110	83,32	2,00	3,20	15,44	65,66	0,950

X_1 = Feuchtegehalt in %

X_2 = Abstehtzeit in min

X_3 = Umfangsgeschwindigkeit in m/s

Tabelle 32: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte Birmash

Probe Nr.	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Mineralstoff in %	Fett in %	Protein in %	Stärke in %
1	13	20	70	74,16	1,33	2,77	10,54	82,15
2	17	20	70	74,73	1,28	2,84	10,47	78,92
3	13	60	70	73,00	1,24	2,71	10,67	79,83
4	17	60	70	73,03	1,22	2,65	10,17	79,66
5	13	20	110	87,03	1,22	2,74	11,09	81,04
6	17	20	110	89,95	1,20	2,74	10,31	80,30
7	13	60	110	89,75	1,28	2,89	11,11	80,30
8	17	60	110	87,16	1,27	2,89	10,75	82,00
9	13	40	90	82,65	1,29	2,80	11,77	82,62
10	17	40	90	82,06	1,27	3,14	11,69	83,66
11	15	20	90	82,39	1,35	3,06	11,87	82,86
12	15	60	90	80,30	1,34	2,97	12,08	81,97
13	15	40	70	70,04	1,30	2,73	11,78	82,20
14	15	40	110	86,67	1,36	2,84	12,08	80,65

Tabelle 33: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte AL70

Probe Nr.	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Mineralstoff in %	Fett in %	Protein in %	Stärke in %
1	13	20	70	70,49	1,33	3,6	12,45	78,19
2	17	20	70	72,08	1,34	3,88	12,21	79,03
3	13	60	70	69,77	1,35	4,29	11,57	77,35
4	17	60	70	66,63	1,35	4,06	12,12	78,29
5	13	20	110	88,31	1,27	3,99	12,10	77,52
6	17	20	110	87,67	1,32	3,92	11,68	78,37
7	13	60	110	89,45	1,33	3,8	11,52	74,53
8	17	60	110	86,99	1,34	4,01	11,69	75,38
9	13	40	90	81,73	1,29	3,78	11,38	77,68
10	17	40	90	81,77	1,31	3,87	11,47	78,79
11	15	20	90	82,72	1,33	3,54	11,71	78,39
12	15	60	90	80,97	1,35	3,74	11,54	80,87
13	15	40	70	67,50	1,35	3,77	11,52	78,57
14	15	40	110	87,35	1,40	3,58	11,72	78,33

Tabelle 34: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo

Antwortgröße	Konstante	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ·X ₂	X ₁ ·X ₃	X ₂ ·X ₃	(X ₁) ²	(X ₂) ²	(X ₃) ²
Ausbeute	75.6	-3,732	1,757	8,746	-1.291	2.099	1.744	0	0	-2.059
Asche	2.053		0,127	-0,147	0	0	0.191	0	-0.108	-0.081
Fett	2.914	0	0	-0.077	-0.082	0	0	0	-0.127	0.161
Protein	15.9	0.088	0	0.380	0	0.149	0.061	0	0	-0.595
Stärke	67.4	1.362	0	-1.168	0	0	1.014	1.315	0	0
Tannin	.903	-0.112	0	0.037	-0.019	0.048	0	-0.04	-0.029	0

Tabelle 35: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70

Antwortgröße	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Ausbeute	81	-0.461	-0.746	9.330	-0.819	0	0.829	0.702	0.797	-3.623
Asche	1.342	0.009	0.013	0	0	0	0	-0.044	0	0.031
Fett	3.614	0	0.097	0	0	0	-0.121	0.237	0	0.087
Protein	11.4	0.171	-0.125	-0.094	0.172	-0.070	0	0	.260	0.255
Stärke	79.5	0.459	-0.502	-0.703	0	0	0.550	-1.224	0	-1.009

Tabelle 36: Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash

Antwortgröße	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Ausbeute	80.5	0	-0.502	7.560	-0.756	0	0.349	1.878	0.868	-2.122
Asche	1.348	-0.012	0	0	0	0	0.035	-0.071	0	-0.021
Fett	2.992	0.035	0	0.040	0	0	0.069	0	0	-0.213
Protein	12.5	-0.17	0	0.179	0	-0.071	0.078	-0.768	-0.523	-0.568
Stärke	83.2	0	0	0	0.685	0.545	0.317	0	-0.832	-1.822

Tabelle 37: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen

Sorte	Antwortgrößen in %	Idealwert	Negativwert
Seredo	Ausbeute	90	56,5
	Tanningehalt	0,6	0,98
AL70	Ausbeute	90	66,5
	Fettgehalt	3,5	4,3
	Stärkegehalt	81	74,5
Birmash	Ausbeute	90	70
	Fettgehalt	2,6	3,1
	Stärkegehalt	83,7	79

Tabelle 38: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	16,8
X_2	Abstehtzeit	min	40
X_3	Umfangsgeschwindigkeit	m/s	97

Tabelle 39: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	14,2
X_2	Abstehzeit	min	37
X_3	Umfangsgeschwindigkeit	m/s	106

Tabelle 40: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X_1	Feuchte	%	15,2
X_2	Abstehzeit	min	22
X_3	Umfangsgeschwindigkeit	m/s	93

Am Ende wurde eine Einflussgröße (X_i) variiert, während die anderen konstant blieben. Die Wirkung der variierten Einflussgrößen auf die Antwortgrößen ist graphisch dargestellt (Abb. 23- Abb. 40).

8.2.1.1 Wirkung der Variablen am Optimum auf die Ausbeute

Die bei der Zerkleinerung der Sorte Seredo angewendeten Einflussgrößen hatten einen großen Einfluss auf die Ausbeute. Der steigende Feuchtegehalt minderte deutlich die Ausbeute. Der höhere Feuchtegehalt vermindert das spröde Verhalten des Kornes und verringert dadurch den Feingutanteil. Dagegen bringen eine längere Abstehzeit und erhöhte Umfangsgeschwindigkeit eine höhere Ausbeute. Die Wanderung des Wassers in das Korninnere, auf Grund längerer Abstehzeiten, führt zur Lockerung der Endospermstruktur, die als zusätzliche Kerbstellen bei den Bruchvorgängen wirken und zu einem höheren Feingutanteil führen.

Die Umfangsgeschwindigkeit ist der Parameter, der den größten Einfluss ausübte, weil die kinetische Energie, die in Bruchenergie umgewandelt wird, mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigt. Mit Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit erhöht sich der Feingutanteil ziemlich stetig. Der Feuchtegehalt übte bei der Sorte AL70 keinen Einfluss auf die Ausbeute aus. Durch Erhöhung des Feuchtegehaltes

von 13 % auf 15 % konnte keine Veränderung der Ausbeute beobachtet werden. Ab 15 % Wassergehalt zeigte sich eine Ausbeuteerhöhung um etwa 1%. Die Verlängerung der Abstezeit minderte die Ausbeute um mehr als 1,5 %. Den wichtigsten Einfluss spielte wie erwartet die Geschwindigkeit. Bei Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s auf 110 m/s konnte die Ausbeute um fast 20 % erhöht werden.

Die Parameter Feuchtegehalt und Abstezeit beeinflussten die Ausbeute der Sorte Birmash sehr gering. Eine Steigerung des Feuchtegehaltes von 13 % auf 15 % zeigte eine Minderung der Ausbeute um etwa 1 %, wobei die Steigerung des Feuchtegehaltes eine leichte Zunahme verursachte. Die Ausbeute zeigte bei der Abstezeit zwischen 20 und 40 min fast die gleichen Werte und stieg ab der 40. Minute leicht an. Die Geschwindigkeit übte dagegen einen deutlichen Einfluss aus. Bei der Erhöhung der Geschwindigkeit steigerten sich die Ausbeutewerte erheblich.

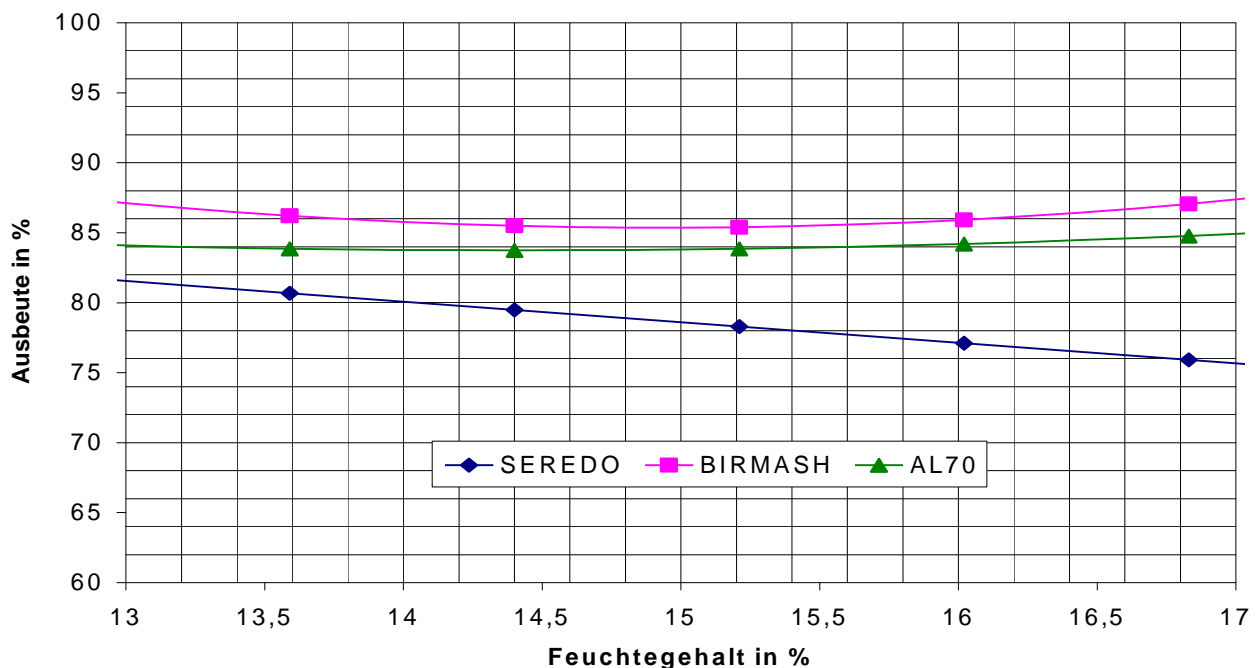


Abbildung 23: Veränderung der Ausbeute durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum

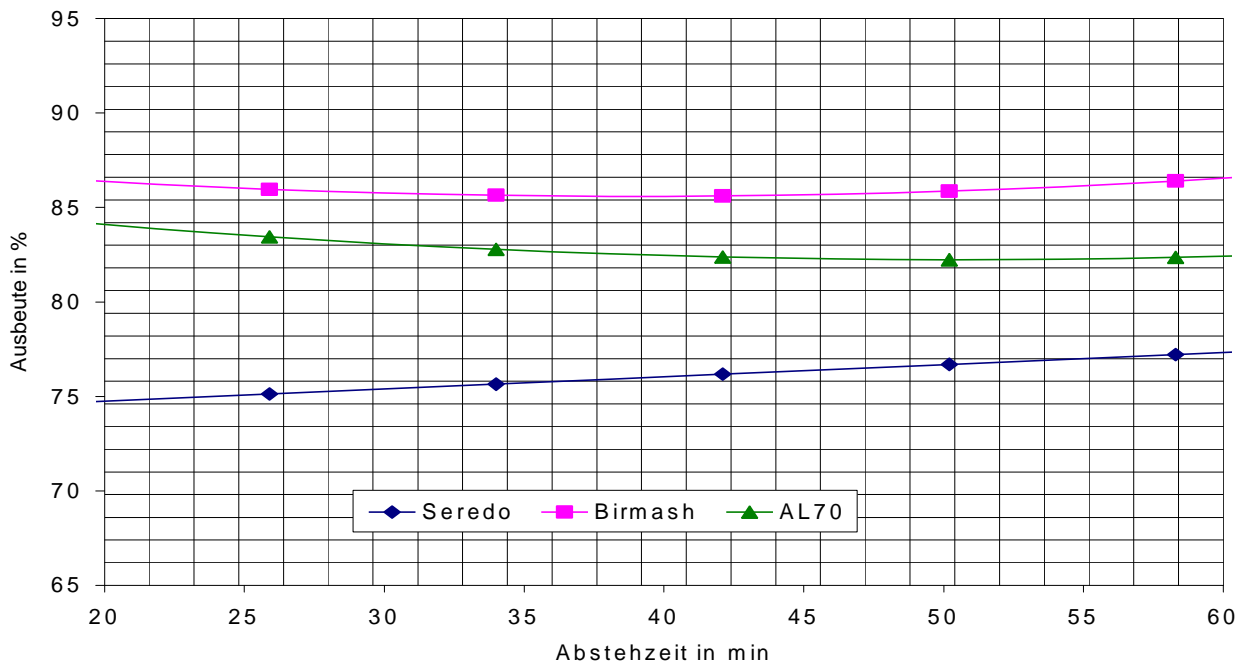


Abbildung 24: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Abstehzeit am Optimum

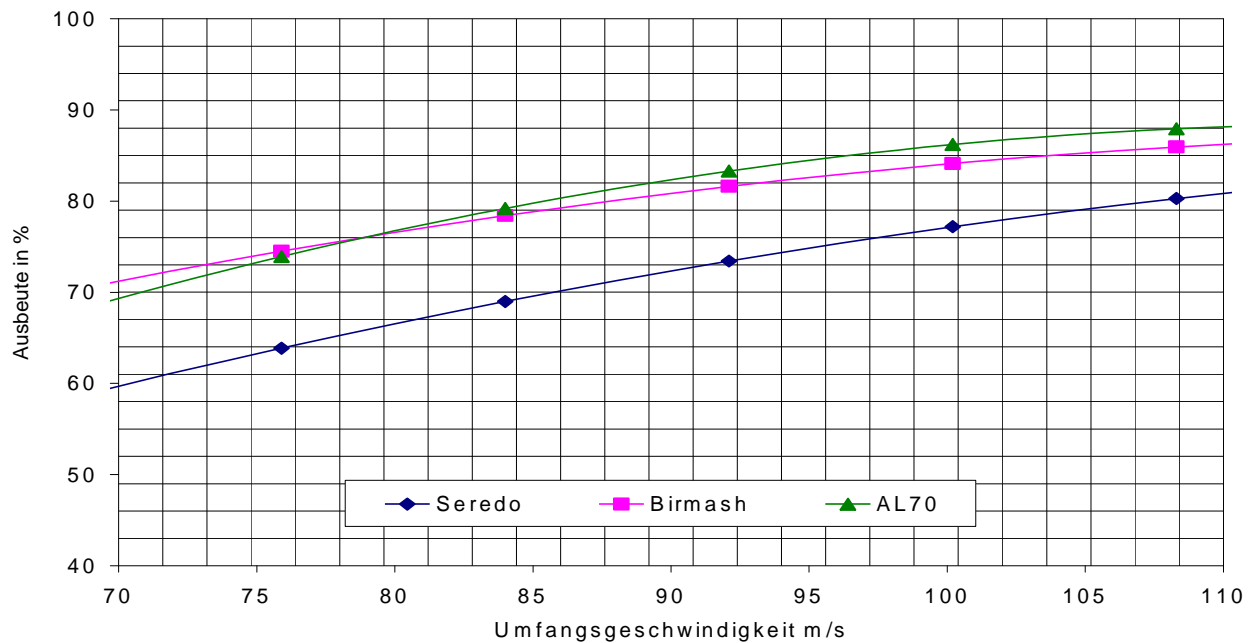


Abbildung 25: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.2 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt

Der Feuchtegehalt der Sorte Seredo hat auf den Mineralstoffgehalt des Mehles keinen Einfluss. Eine längere Abstezeit führte jedoch zur Steigerung des Mineralstoffgehaltes um 0,5 %, wahrscheinlich infolge einer stärkeren Migration der Mineralstoffe in den Mehlkörper.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse lässt sich feststellen, dass mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit der Mineralstoffgehalt abnimmt.

Da durch die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Feinanteil zunimmt, der größtenteils aus dem Mehlkörper besteht, begründet sich hierdurch die Verringerung der Mineralstoffwerte. Dies ist eine mögliche Ursache für den geringeren Mineralstoffgehalt bei hoher Umfangsgeschwindigkeit.

Bei der Sorte AL70 zeigte die längere Abstezeit keine Veränderung des Mineralstoffgehaltes. Es konnte zwar ein linearer Anstieg beobachtet werden, jedoch liegen die Werte zwischen 1,33 % bei 20 min und 1,35 % bei 60 min Abstezeit, was innerhalb der Toleranz der Methode liegt. Die Umfangsgeschwindigkeit zeigte zwischen 70 m/s und 90 m/s eine Abnahme von 0,3 % und ab 90 m/s eine Zunahme um 0,2 %. Bei dem Feuchtegehalt verhielt sich der Mineralstoffgehalt genauso. Die Steigerung des Wassergehaltes von 13 % auf 15 % erhöhte den Mineralstoffgehalt von 1,26 % auf 1,33 %, und ab 15 % fiel der Wert auf 1,3 %. Daraus kann man schlussfolgern, dass der

Mineralstoffgehalt von allen Einflussparametern kaum beeinträchtigt wurde. Der Mineralstoffgehalt der Sorte Birmash wurde durch den Parameter Umfangsgeschwindigkeit kaum verändert. Durch die längere Abstezeit erhöhte sich der Mineralstoffgehalt bedingt durch die Wanderung der Feuchte in das Korninnere, da der hohe Wassergehalt die Schale und Randschichten zäh werden lässt. Bei der Erhöhung des Feuchtegehaltes nahmen die Mineralstoffwerte dagegen ab.

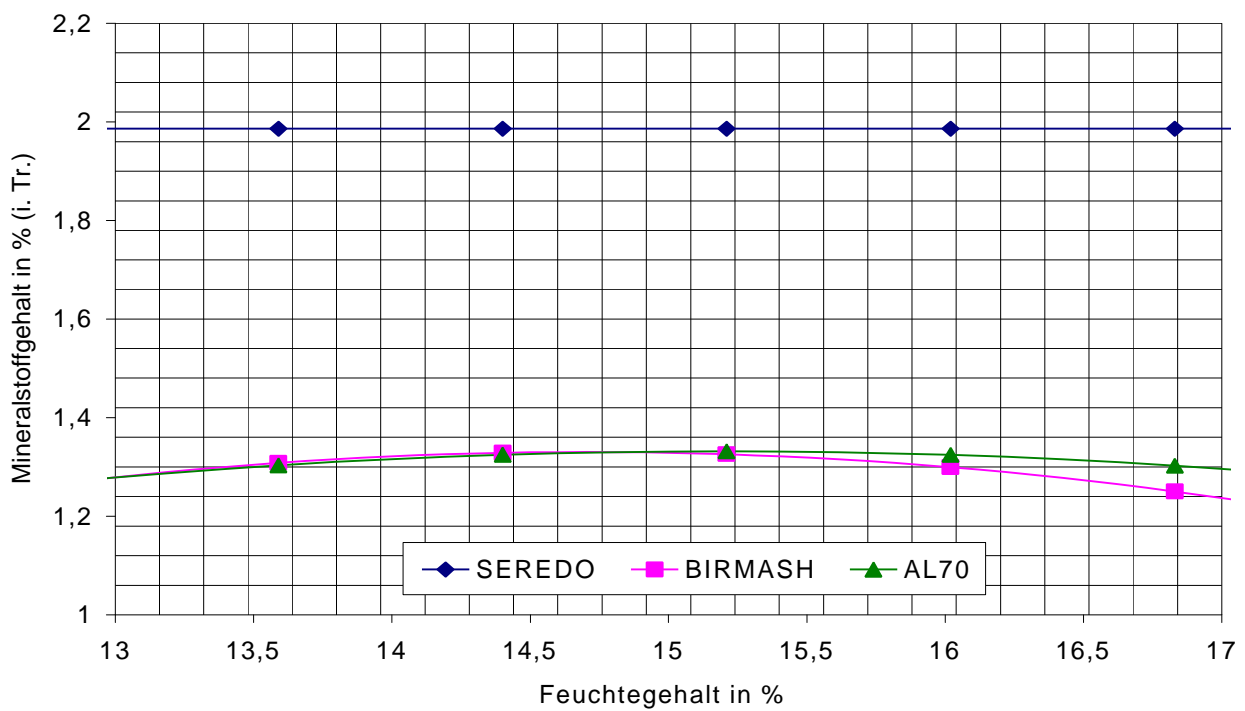


Abbildung 26: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Veränderung der Feuchtegehalt am Optimum

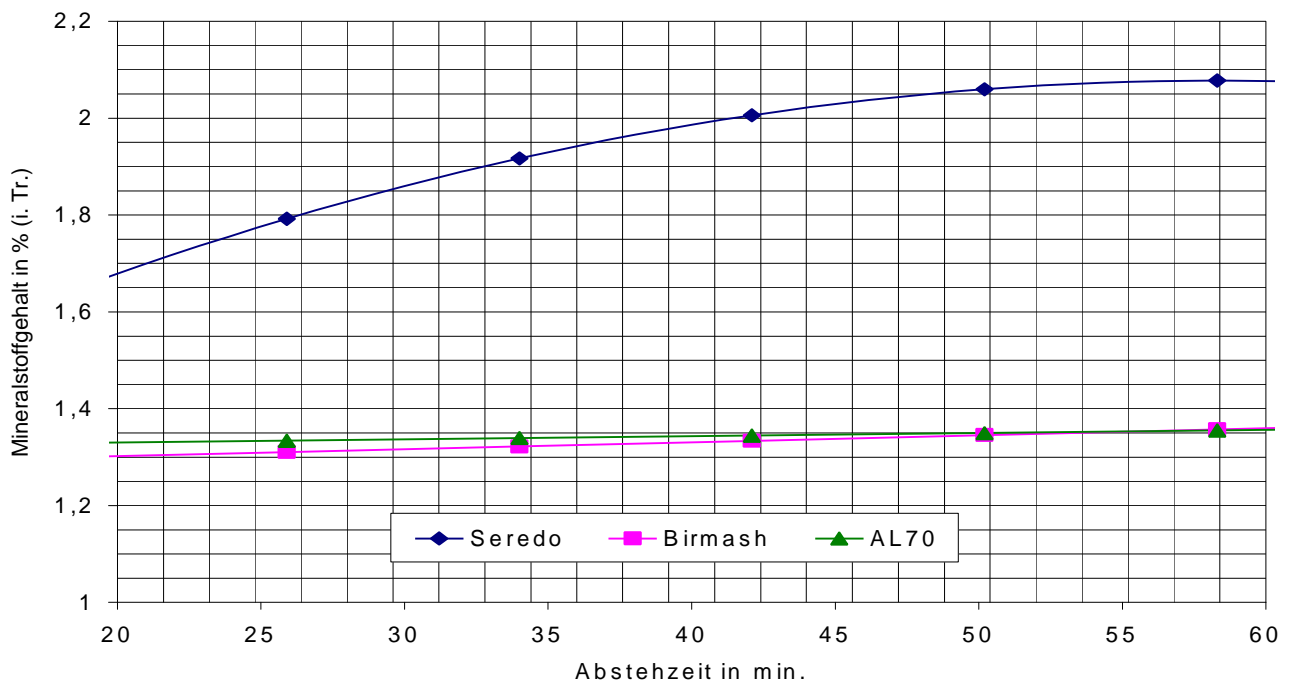


Abbildung 27: Veränderung der Mineralstoffgehalte durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

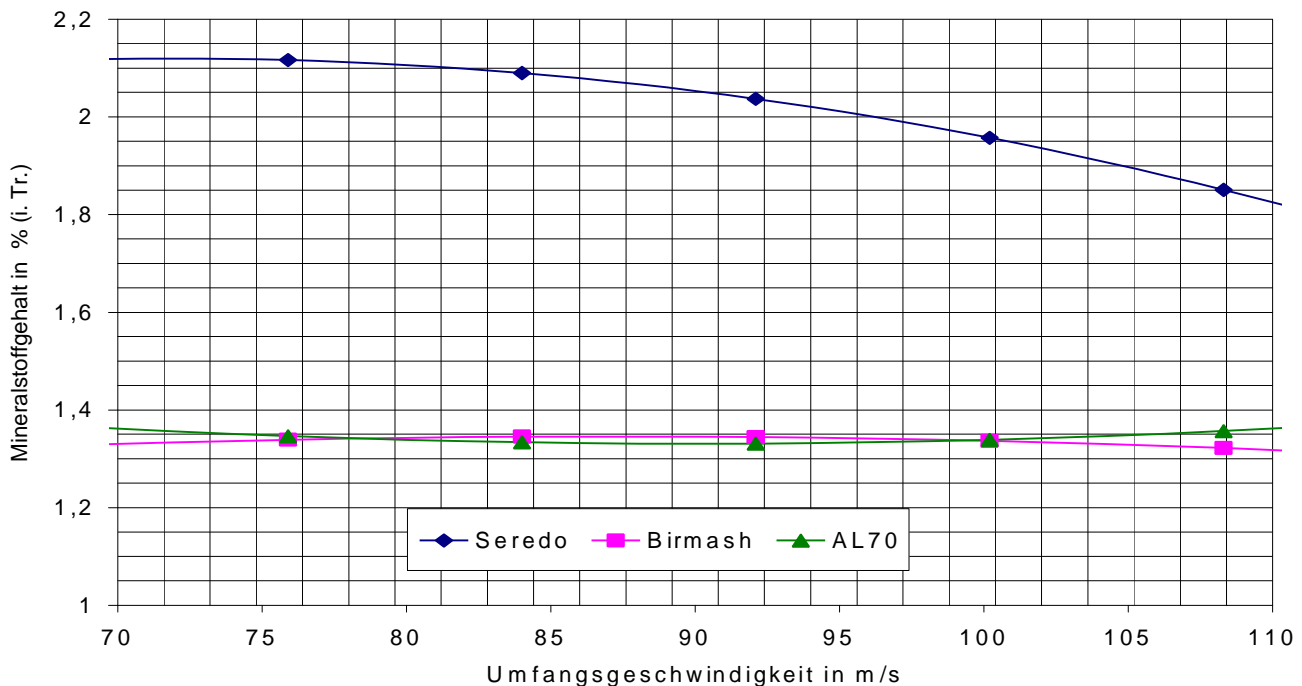


Abbildung 28: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.3 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt

Bei der Sorte Seredo übt der Feuchtegehalt des zu zerkleinernden Sorghums auf den Fettgehalt des Mehles keinen Einfluss aus. Wahrscheinlich ist die Lockerungswirkung am Keim nicht ausreichend. Dagegen bewirkten Abstehtzeiten über 40 Minuten eine Abnahme des Fettgehaltes. Die Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s bis 90 m/s minderte den Gehalt von Fett geringfügig. Eine weitere Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit bewirkte eine Zunahme. Der Fettgehalt der Sorte AL70 wurde durch alle Einflussgrößen gering beeinflusst. Die Erhöhung des Feuchtegehaltes bis auf 15 % minderte den Fettgehalt um etwa 0,3 % (von 3,83 auf 3,55) und bei einem Feuchtegehalt von 17 % erhöhte sich der Fettgehalt auf 3,74 %. Die längere Abstehtzeit zeigt zwar eine Steigerung der Werte, aber auch hier liegen die Unterschiede um 0,16 %. Genauso verhält sich der Fettgehalt bei einer Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit. Hier konnten auch fast keine Unterschiede der errechneten Werte beobachtet werden. Bei der Sorte Birmash wurde der Fettgehalt durch den Feuchtegehalt und die Abstehtzeiten linear erhöht. Die Umfangsgeschwindigkeit erhöhte ebenfalls den Fettgehalt. Diese

Fetterhöhung betrug bei allen Parametern unter 0,3 % was nur auf einen geringen Einfluss dieses Parameters hinweist.

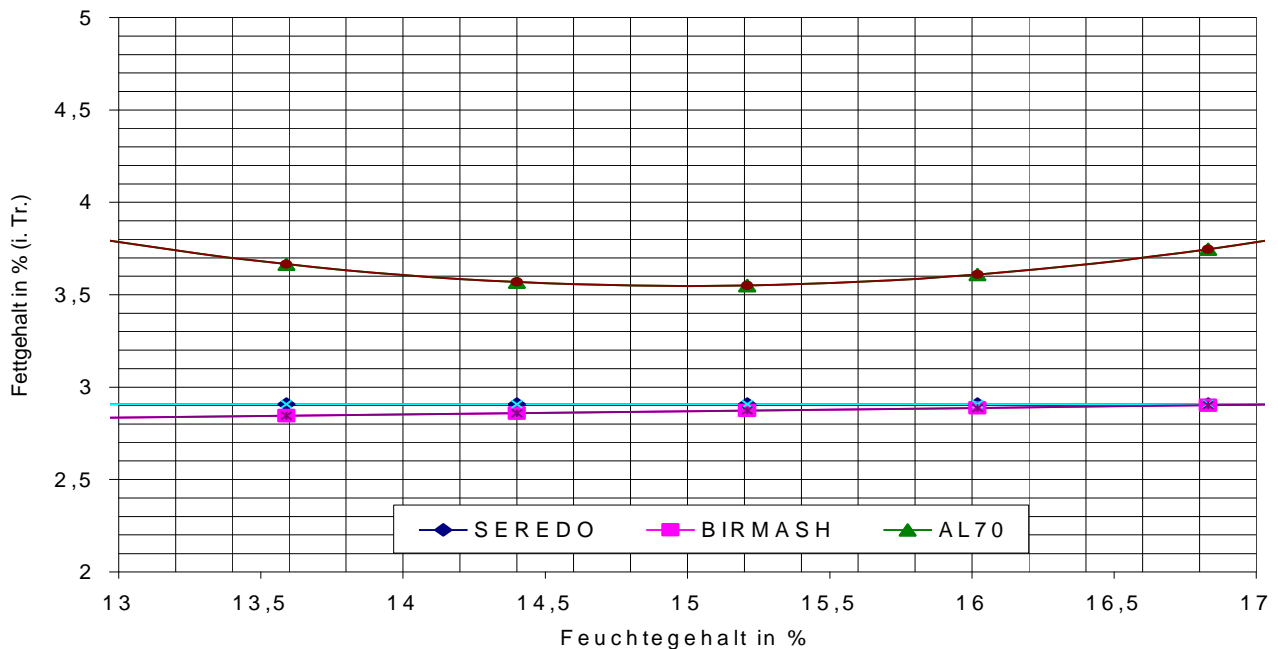


Abbildung 29: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum

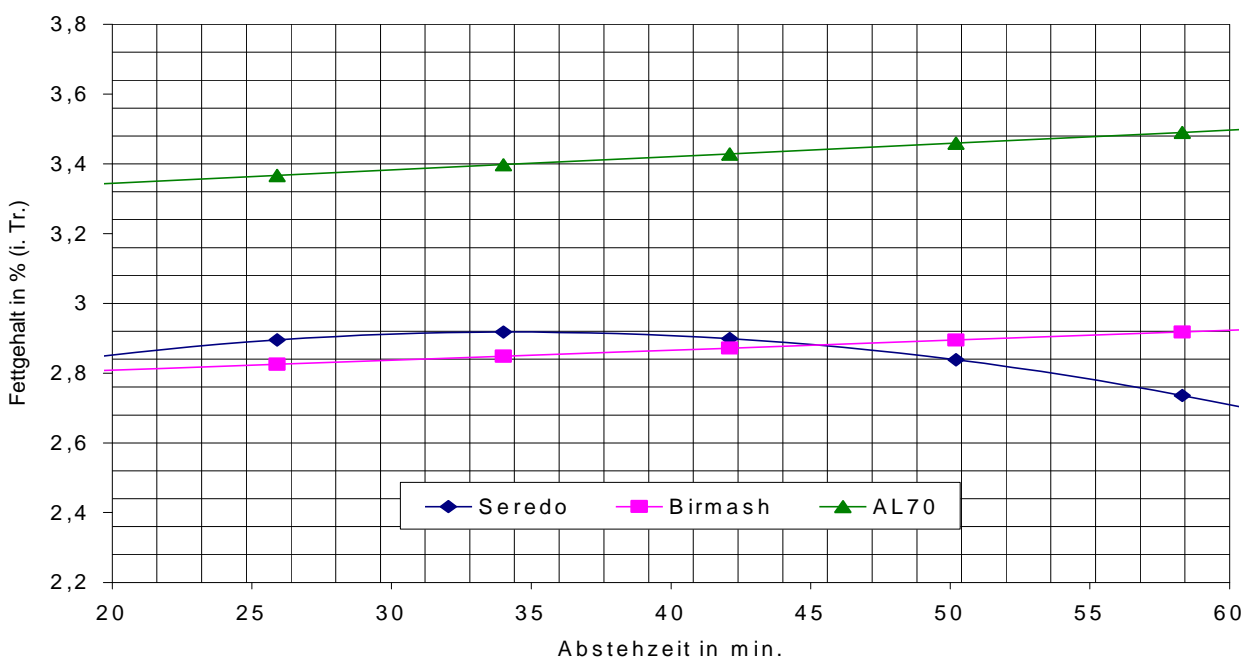


Abbildung 30: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

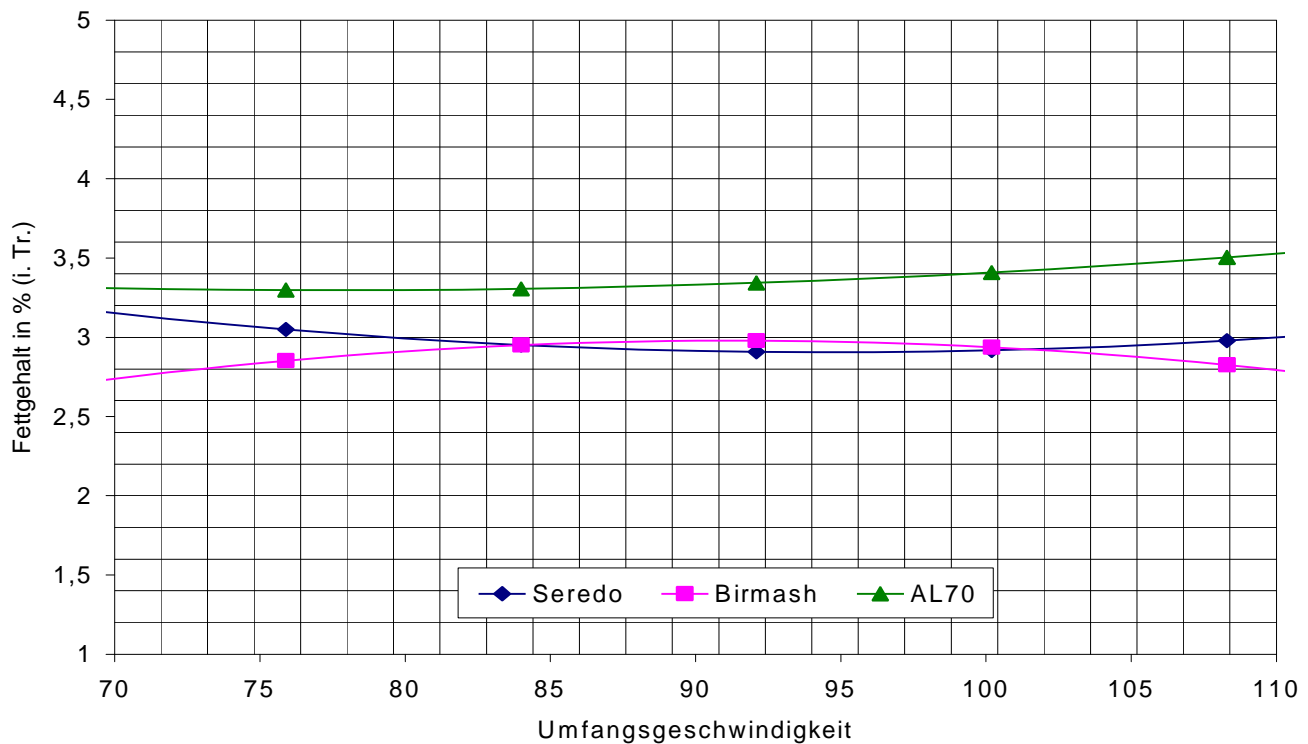


Abbildung 31: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.4 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt

Der Proteingehalt der Sorte Seredo bleibt mit steigendem Feuchtegehalt und längerer Abstehtzeit nahezu unverändert. Durch die Erhöhung der Ausbeute auf Grund steigender Umfangsgeschwindigkeiten ist eine Zunahme des Proteingehaltes zu beobachten. Bei zunehmenden Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 100 m/s erhöhte sich der Proteingehalt und nahm danach leicht ab. Die Abnahme könnte mit höheren Schalenteilen im Mehl begründet werden. Bei einer Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit nahm der Proteingehalt der Sorte AL70 um 0,6 % ab. Die längere Abstehtzeit hatte kaum Einfluss auf den Proteingehalt. Es konnte nur eine Abnahme um 0,4 % beobachtet werden. Bei steigendem Feuchtegehalt nahm ebenfalls der Proteingehalt um 0,68 % (von 12,05 % bei 13 % auf 11,37 % bei 17 % Wassergehalt) ab. Alle drei Einflussparameter konnten die Proteinwerte der Sorte Birmash nur leicht beeinflussen. Die längere Abstehtzeit übte eine leichte Steigerung des Proteingehaltes im Mehl (um 0,5 %) aus. Eine Erhöhung des Feuchtegehaltes bis auf 15 % verursachte ebenso eine leichte Zunahme (um 0,6 %) und danach nahm der Proteingehalt bei höherer Feuchte leicht ab. Eine höhere Umfangsgeschwindigkeit hatte die Erhöhung des Proteingehaltes um 0,9 % zur Folge.

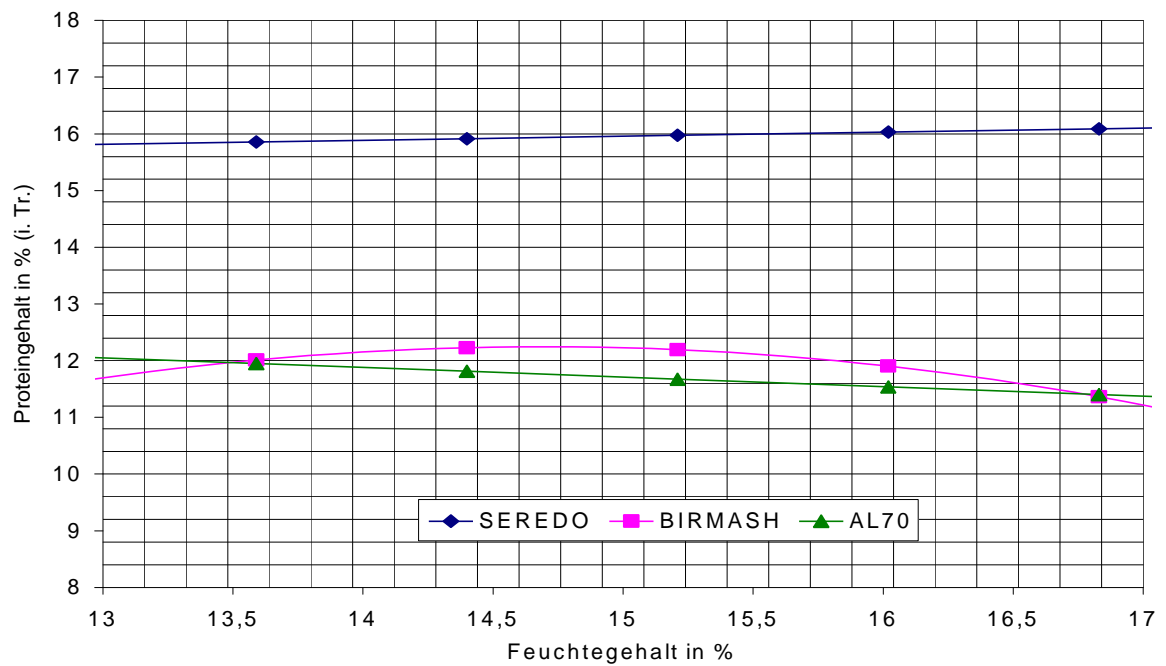


Abbildung 32: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum

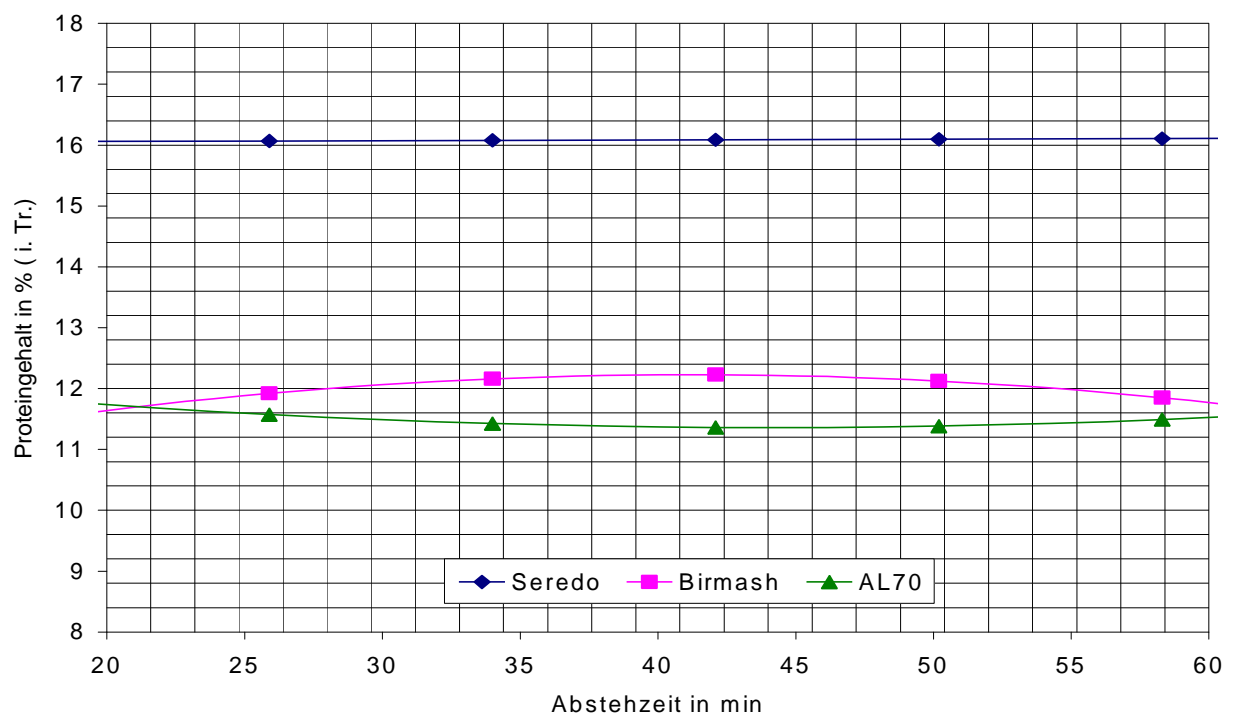


Abbildung 33: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Abstehezeit am Optimum

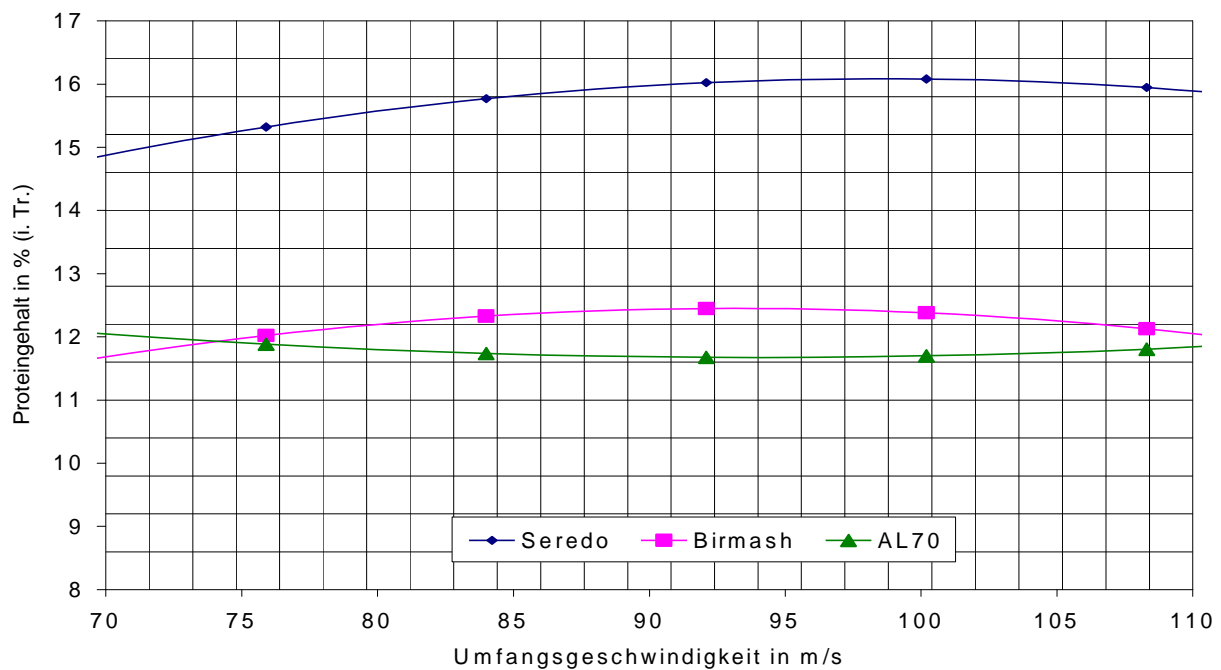


Abbildung 34: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.5 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt

Bei der Sorte Seredo hat eine Erhöhung des Feuchtegehaltes die Erhöhung des Stärkegehaltes im Mehl zur Folge. Die Abstehtzeiten haben auf den Stärkegehalt keinen Einfluss. Bei zunehmender Umfangsgeschwindigkeit fiel dagegen der Stärkegehalt deutlich ab. Die Abnahme ist auf eine Steigerung der Ausbeute und Zunahme der anderen Inhaltsstoffe zurückzuführen (s. Tab. 25) Der steigende Feuchtegehalt von 13 % auf 17,5 % erhöhte den Stärkegehalt der Sorte AL 70 um fast 1%. Eine längere Abstehtzeit verursachte eine Abnahme des Stärkegehaltes. Diese Abnahme betrug etwa 1,1 %. Die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s auf 90 m/s bewirkte nur eine Erhöhung des Stärkegehaltes um 0,7%, wobei bei der weiteren Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit bis auf 110 m/s sich der Wert um etwa 1,2 % verminderte. Alle 3 Parameter haben einen deutlichen Einfluss auf den Stärkegehalt der Sorte Birmash. Bei der Erhöhung des Feuchtegehaltes wurde eine Steigerung der Werte erreicht, da die Randschichten des Getreides bei höherem Feuchtegehalt schwer zu zerkleinern sind. Eine längere Abstehtzeit und höhere Umfangsgeschwindigkeit verursachten verständlicherweise dagegen eine Abnahme des Stärkegehaltes.

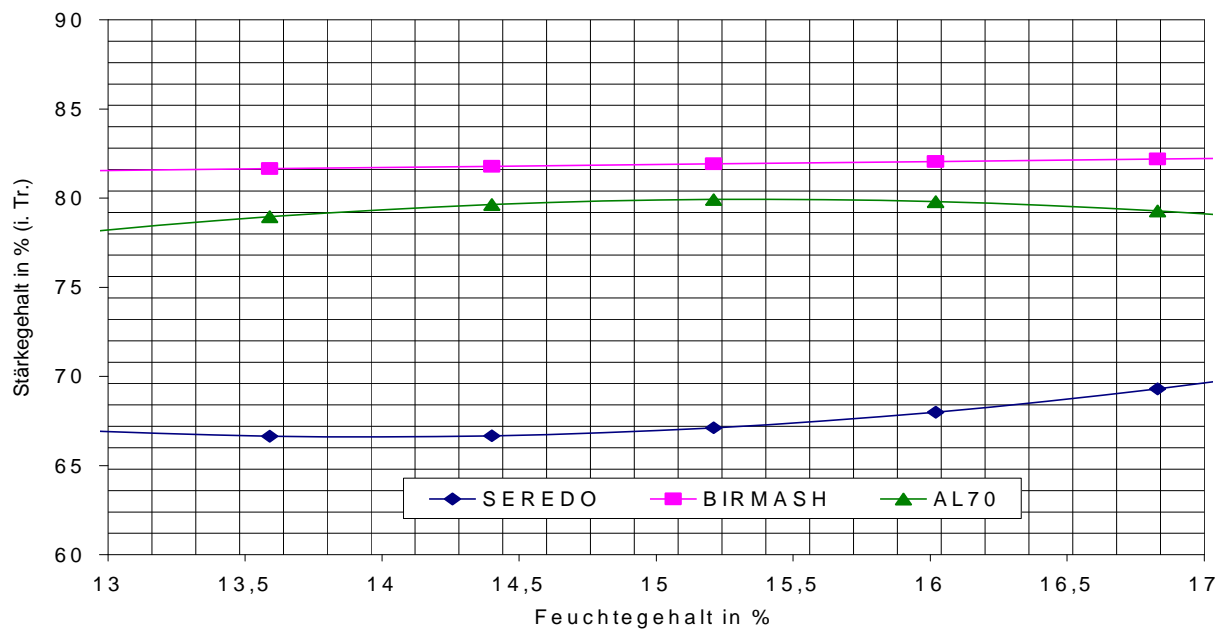


Abbildung 35: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum

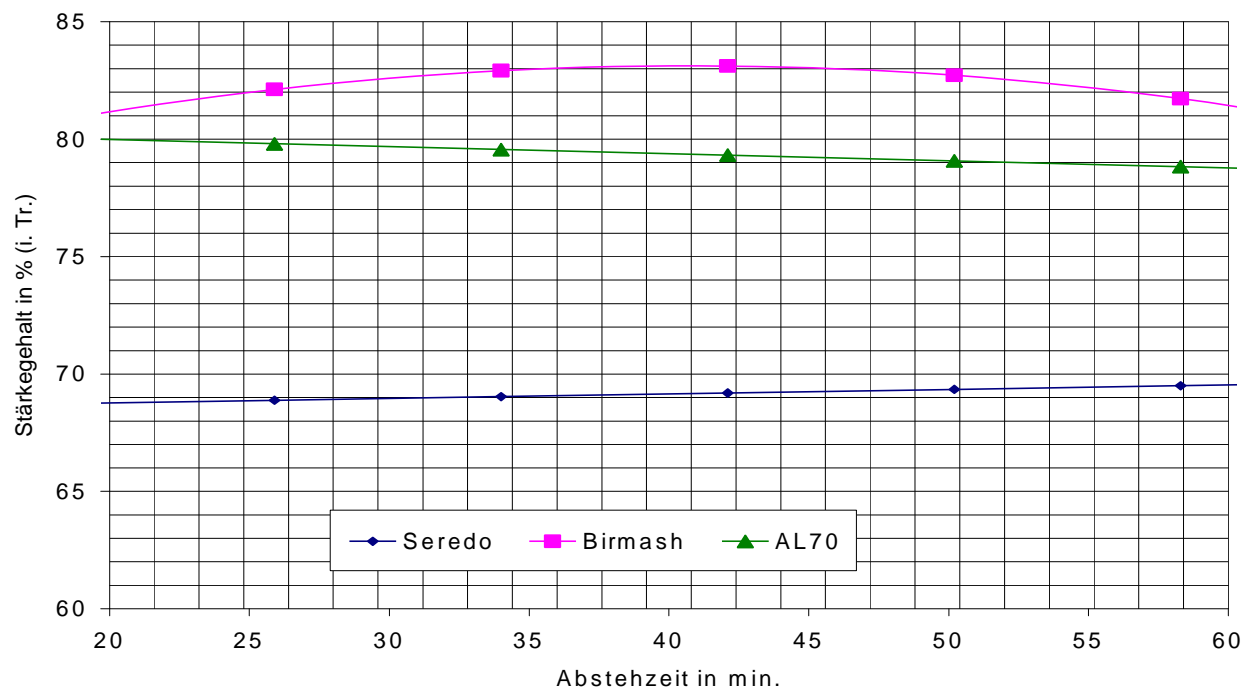


Abbildung 36: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

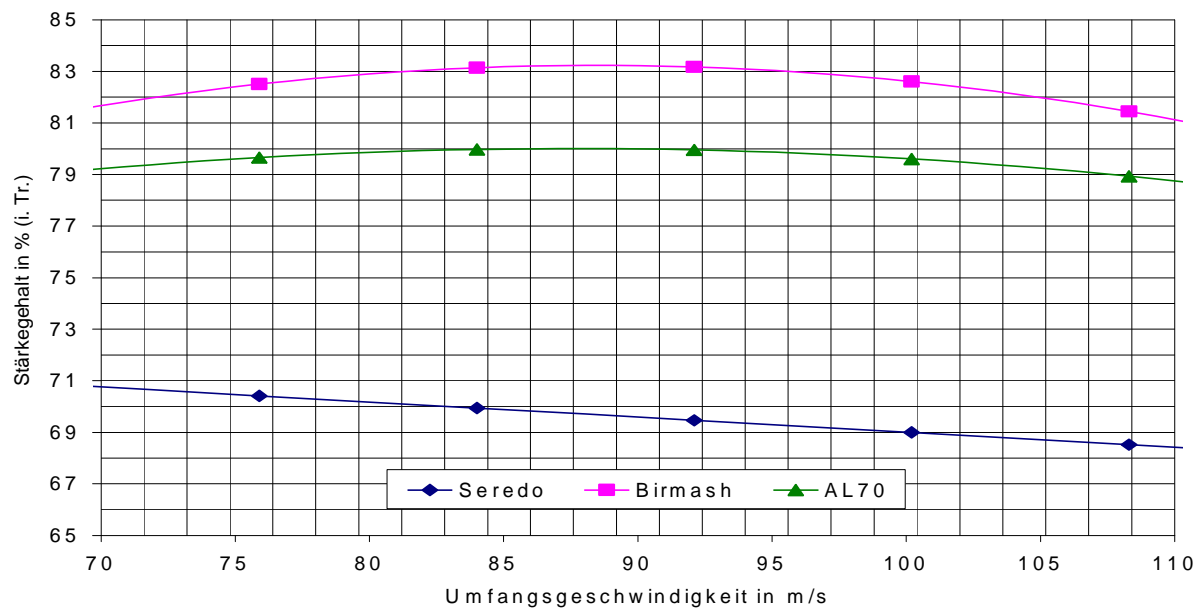


Abbildung 37: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.6 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt

Der steigende Feuchtegehalt bewirkte infolge der niedrigeren Ausbeute eine Abnahme des Tanningehaltes. Der Einfluss der Abstehtzeiten war hier nicht nennenswert und ubte kaum einen Einfluss auf den Tanningehalt aus. Die Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit bedeutete eine steile Zunahme des Tanningehaltes.

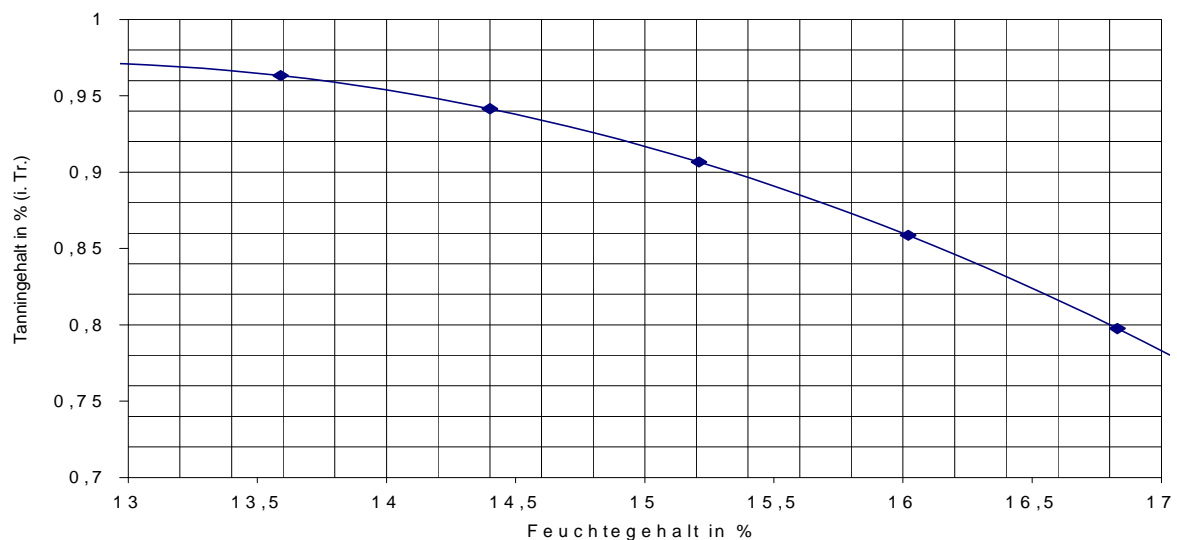


Abbildung 38: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum

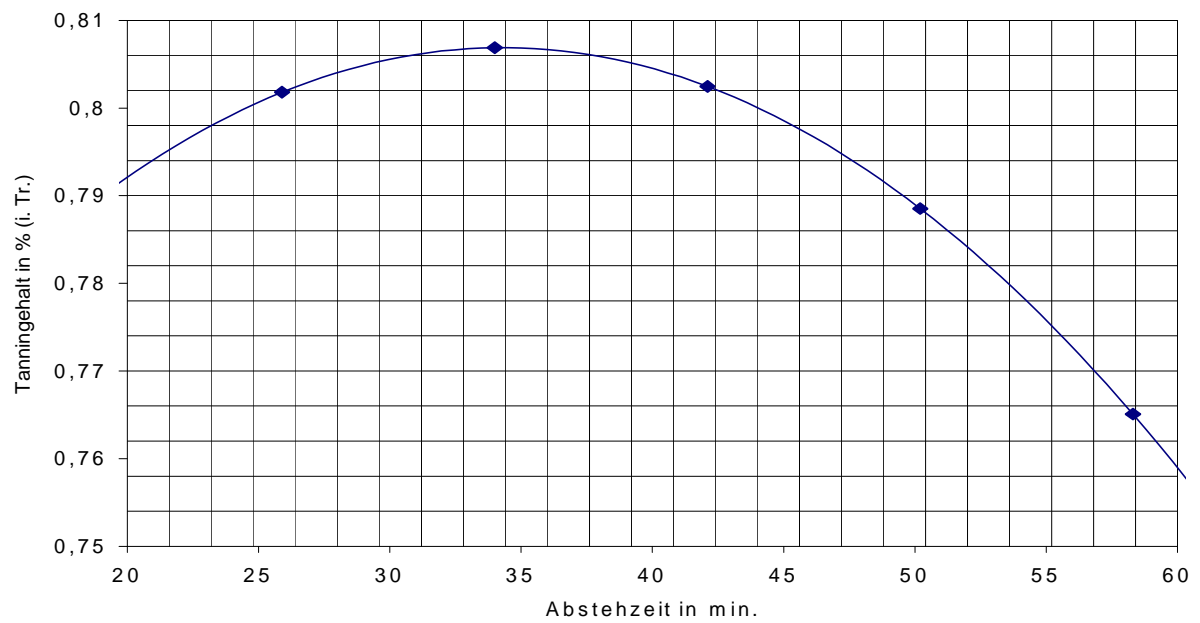


Abbildung 39: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehzeit am Optimum

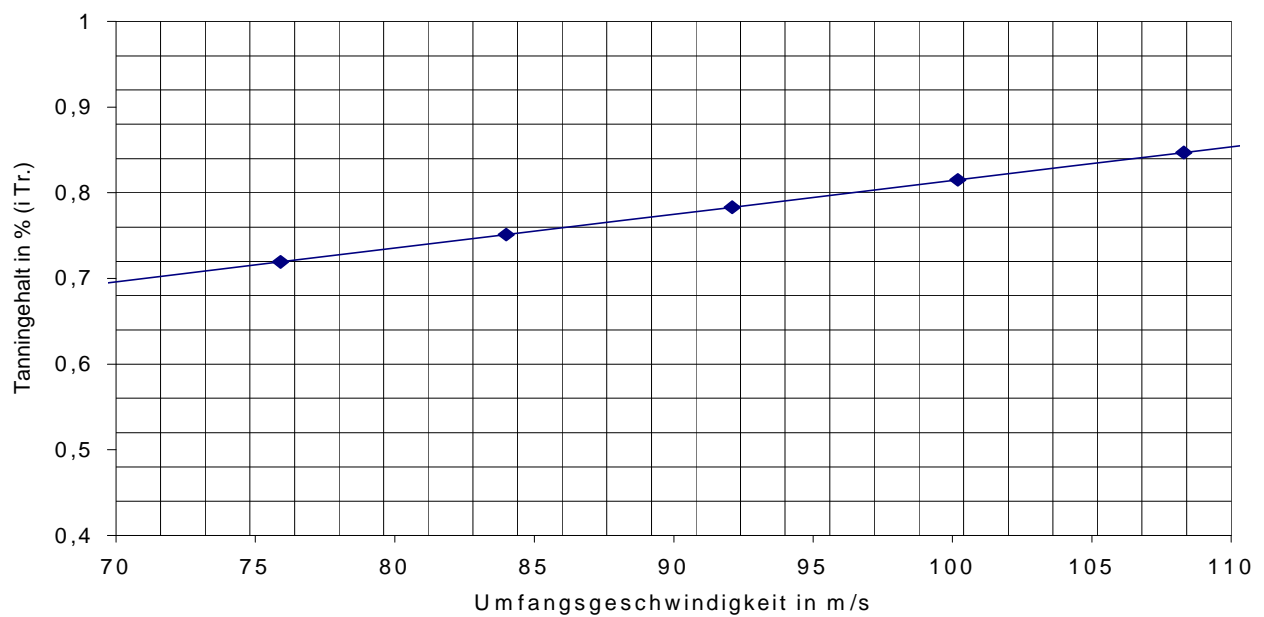


Abbildung 40: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum

8.2.1.7 Diskussion der Ergebnisse aus der Prallvermahlung

Für die Auswertung der Ergebnisse wurden bei der Sorte Seredo der Tanningehalt in Abhängigkeit von der Ausbeute, bei den Sorten AL70 und Birmash der Fettgehalt sowie der Stärkegehalt in Abhängigkeit von Ausbeute als Maßstab für die Qualitätsanalyse der Mehle genommen.

Bei der Analyse der Zerkleinerungsprodukte konnte festgestellt werden, dass durch die Prallzerkleinerung ein höherer Feingutanteil ($<500\text{ }\mu\text{m}$) anfiel. Durch die Steigerung der Umfangsgeschwindigkeiten von 70 m/s auf 110 m/s erhöhte sich die Zerkleinerungsintensität und damit auch der Feingutanteil in den Zerkleinerungsprodukten. Es konnten bei einzelnen Versuchen vor der Optimierung z. B. bei der Sorte Seredo mehr als 73 % des gesamten Tanningehaltes, bei den Sorten AL70 und Birmash mehr als 30 % bzw. 35 % des gesamten Rohfettgehaltes entfernt werden. Dies war leider mit einer drastischen Abnahme der Ausbeute verbunden.

Mit der Mehrfachoptimierung konnte eine deutliche Abnahme der Tannin-, Mineralstoff-, und Fettgehalte sowie die Zunahme der Protein- und Stärkegehalte bei vertretbaren Ausbeutewerten erreicht werden.

Bei der Prallzerkleinerung der Sorte Seredo, die eine schlechte Kornausbildung hatte, nahm der Zerkleinerungsgrad mit Erhöhung des Feuchtegehaltes wegen der Erhöhung der Zähigkeit stärker ab. Es wurden bei einer Feuchtegehaltserhöhung von 13 % auf 17 % mit Abstehtzeiten von jeweils 20 und 60 Minuten sowie einer Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s fast 12 % weniger Ausbeute ermittelt. Der Tanningehalt konnte durch einen höheren Feuchtegehalt deutlich gemindert werden. Ein niedrigerer Tanningehalt (0,612 %), das entspricht einer Absenkung gegenüber dem Korn von 69.6 %, wurde bei einem Feuchtegehalt von 17 %, einer Abstehtzeit von 20 Minuten und einer Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s ermittelt. Die Ausbeute lag bei 59,73 %.

Eine Verlängerung der Abstehtzeit von 20 Minuten auf 60 Minuten und eine höhere Umfangsgeschwindigkeit (110 m/s) bei einem Feuchtegehalt von 17 % steigerte die Ausbeute um fast 22 %. Verbunden damit war eine weitere Abnahme der Fett- und Mineralstoffgehalte, aber auch eine geringe Zunahme des Tanningehaltes von 0,12 % gegenüber 70 m/s und 20 Minuten.

Für die Verarbeitung der Sorte Seredo mittels Prallmühle sind ein höherer Feuchtegehalt, eine längere Abstehtzeit und eine hohe Umfangsgeschwindigkeit

zu empfehlen. Dadurch wird eine hohe Ausbeute des Mahlproduktes bei vertretbar niedrigem Tanningehalt erreicht.

Bei der Sorte Birmash wurde mehr Feingut ($< 500\mu\text{m}$) ermittelt als bei den beiden anderen Sorten. Trotz höherer Ausbeute mit hoher Umfangsgeschwindigkeit hatte der Mineralstoffgehalt relativ niedrige Werte. Die Fettgehalte zeigten bei allen Versuchen nur geringe Unterschiede. Die Umfangsgeschwindigkeit ist auch bei der Prallzerkleinerung dieser Sorte der entscheidende Parameter für Ausbeute- und Qualitätswerte. Die Ausbeutewerte zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit. Die Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s auf 110 m/s erhöhte die Ausbeute um fast 15 % und dies bei einem relativ gleichen Fett- und Mineralstoffgehalt sowie höheren Stärke- und Proteingehalten. Die Prallzerkleinerung der Sorte Birmash mit einem niedrigeren Feuchtegehalt, längerer Abstehtzeit und hoher Umfangsgeschwindigkeit ergibt ein Produkt hoher Ausbeute mit niedrigen Fett- und Mineralstoffgehalten.

Etwa 29 % des gesamten Fettgehalts und bis zu 18 % des Mineralstoffgehalts konnten bei der Sorte AL70 im Zerkleinerungsprodukt $<710\ \mu\text{m}$ nach der Prallzerkleinerung reduziert werden. Wie bei den anderen Sorten nahm hier auch die Ausbeute mit einer Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit zu.

Bei dieser Sorte wurde die gleiche Wirkung der Umfangsgeschwindigkeit wie bei der Sorte Birmash beobachtet. Eine Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit von 70 m/s auf 110 m/s steigerte die Ausbeute, die Inhaltsstoffwerte veränderten sich unwesentlich.

Die Einflüsse von Feuchtegehalt und Abstehtzeit sind bei dieser Sorte nicht bedeutend. Bei der Prallvermahlung der Sorte AL70 kann mit einem niedrigen Feuchtegehalt von 13 % und einer Umfangsgeschwindigkeit von 110 m/s ein relativ asche- und fettarmes Produkt hergestellt werden.

8.3 Ergebnisse der Walzenstuhlvermahlung

8.3.1 Darstellung der Ergebnisse

Nach der Vermahlung erfolgte die Ermittlung der quantitativen und qualitativen Antwortgrößen. Als quantitative Antwortgröße wurde der Feingutanteil $<1000\ \mu\text{m}$ als Ausbeute gewählt. Für die analytischen Bestimmungen wurden die gesiebten und nach ihrer Korngröße sortierten Grieße und Mehle prozentual zusammengemischt. Aus diesen wurden dann die qualitativen Antwortgrößen bestimmt und in die Antwortmatrix eingetragen (Tabellen 41, 42 und 43).

Tabelle 41: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte Seredo

(*=% i. Tr.)

Probe Nr.	X1	X2	X3	Ausbeute*	Mineral-Stoff*	Fett*	Protein*	Stärke*	Tannin*
1	13	20	0,2	75,27	1,59	2,19	15,36	79,09	2,29
2	17	20	0,2	68,43	1,444	2,66	15,92	86,98	1,41
3	13	60	0,2	77,25	1,54	2,58	15,33	74,32	2,7
4	17	60	0,2	66,54	1,30	1,95	14,74	80,56	1,41
5	13	20	0,4	56,15	1,36	1,78	14,87	79,85	1,95
6	17	20	0,4	53,37	1,22	1,71	15,25	79,90	0,92
7	13	60	0,4	59,30	1,39	1,82	14,63	75,46	2,27
8	17	60	0,4	51,22	1,16	1,52	14,60	76,52	1,13
9	13	40	0,3	66,64	1,44	1,92	15,20	74,52	2,32
10	17	40	0,3	59,45	1,24	1,76	16,01	78,21	1,12
11	15	20	0,3	64,15	1,42	2,1	15,12	85,72	1,19
12	15	60	0,3	60,88	1,29	1,90	15,34	86,14	1,73
13	15	40	0,2	70,31	1,46	2,14	15,59	75,48	1,54
14	15	40	0,4	52,65	1,22	1,68	14,43	81,02	1,16

X₁ = Feuchtegehalt in %

X₂ = Abstehtzeiten in min

X₃ = Mahlspalt in mm

Tabelle 42: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte Birmash
(*=% i. Tr.)

Probe Nr.	X1	X2	X3	Ausbeute*	Mineral-Stoff*	Fett*	Protein*	Stärke*
1	13	20	0,2	86,20	1,09	2,64	9,41	82,38
2	17	20	0,2	85,54	0,95	2,31	9,42	86,32
3	13	60	0,2	86,12	0,99	2,26	8,96	84,68
4	17	60	0,2	83,33	0,90	2,07	9,15	84,63
5	13	20	0,4	68,81	0,98	2,14	9,06	82,91
6	17	20	0,4	74,82	0,77	1,71	9,21	84,97
7	13	60	0,4	71,92	0,84	1,81	8,83	84,56
8	17	60	0,4	66,63	0,68	1,50	9,00	85,68
9	13	40	0,3	78,80	0,93	2,15	8,86	84,56
10	17	40	0,3	80,06	0,86	1,96	9,49	86,60
11	15	20	0,3	78,74	0,93	2,21	9,57	83,12
12	15	60	0,3	76,04	0,83	1,90	9,20	86,57
13	15	40	0,2	84,60	1,01	2,31	9,39	78,40
14	15	40	0,4	68,37	0,87	1,94	9,07	85,10

Tabelle 43: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte AL70
(*=% i. Tr.)

Probe Nr.	X1	X2	X3	Ausbeute*	Mineral-Stoff*	Fett*	Protein*	Stärke*
1	13	20	0,2	89,61	1,08	2,98	10,63	85,56
2	17	20	0,2	88,70	0,96	2,71	11,22	86,06
3	13	60	0,2	88,83	1,03	2,99	11,11	84,76
4	17	60	0,2	87,25	0,94	2,60	11,25	85,96
5	13	20	0,4	77,69	1,04	2,89	10,45	85,61
6	17	20	0,4	83,02	0,97	2,52	11,19	85,02
7	13	60	0,4	75,20	1,04	2,77	10,26	85,41
8	17	60	0,4	79,95	0,82	2,12	11,44	87,13
9	13	40	0,3	83,03	1,03	2,95	10,82	85,99
10	17	40	0,3	85,89	0,86	2,64	11,11	86,35
11	15	20	0,3	86,54	0,87	2,66	11,44	81,61
12	15	60	0,3	83,19	0,87	2,59	10,98	86,48
13	15	40	0,2	88,50	1,01	3,01	11,37	86,86
14	15	40	0,4	80,63	0,88	2,66	11,25	88,04

Letztlich wurden diese ermittelten Größen optimiert. Die Optimierung erfolgte mit dem Ziel einer besseren Trennung von Tannin, Fett und Mineralstoffe. Dafür wurden die Negativ- und Idealwerte der Antwortgrößen festgelegt siehe Tabelle 44. Nach der Berechnung der Regressionsgleichung wurden für die drei Sorten eine Funktion der einzelnen Antwortgrößen ermittelt. Die ermittelten Funktionen zeigen Tabelle 44,45, und 46.

Die optimalen Einflussparameter der einzelnen Sorten nach der Optimierung enthalten die Tabellen 48, 49 und 50.

Tabelle 44: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo
(Einfachoptimierung)

Antwort- größe	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Ausbeute	61,37	-3,560	0	-8,511	-1,146	0,836	0	1,172	0,642	0
Mineral- stoff	1,339	-0,094	0,034	-0,098	-0,024	0	0,021	0	0,032	0
Fett	1,874	-0,070	-0,066	-0,302	-0,166	0	0	0	0,144	0
Protein	15,4	0,113	-0,188	-0,316	-0,195	0	0	0	0	-,346
Stärke	80,7	1,893	-1,854	0	0	-1,628	0	-4,365	5,2	-2,480
Tannin	1,371	-0,553	0,147	-0,192	-0,066	0	0	0,327	0,066	0

Tabelle 45: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70
(Einfachoptimierung)

Antwort- größe	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Ausbeute	85,0	1,045	-1,114	-4,640	0	1,571	-0,416	-0,638	0	-0,533
Mineral- stoff	0,881	-0,068	-0,021	-0,027	-0,015	0	0	0,053	0	0,055
Fett	2,783	-0,200	-0,069	-0,133	-0,049	-0,047	-0,054	0	-0,149	0,059
Protein	11,3	0,294	0	-0,099	0	0,149	0	-0,312	0	0
Stärke	90,8	0	0,410	-90,23	0	0	0	0	-0,005	150,4

Tabelle 46: Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash
(Einfachoptimierung)

Antwort- größe	Konstante	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	$(X_3)^2$
Ausbeute	77,6	0	-1,007	-7,542	-1,679	0,521	0	1,668	0	-1,277
Mineral- stoff	0,906	-0,66	-0,049	-0,079	0,016	-0,017	-0,01	0	-0,033	0,028
Fett	2,088	-0,146	-0,148	-0,249	0,031	-0,027	0	0	-0,034	0
Protein	9,351	0,115	-0,153	-0,116	0	0	0	-0,142	0	-0,087
Stärke	84,2	0,911	0,642	0,681	0	0	0	1,985	0	-1,845

Tabelle 47: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen

Sorte	Antwortgrößen in %	Idealwert	Negativwert
Seredo	Ausbeute	77,3	51,0
	Stärkegehalt	87	74,5
	Tanningehalt	0,9	2,7
AL70	Ausbeute	90	75,0
	Stärkegehalt	88	81,5
	Fettgehalt	2,1	3,0
Birmash	Ausbeute	86,2	78,4
	Stärkegehalt	86,6	78,4
	Fettgehalt	1,5	2,7

Tabelle 48: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X ₁	Feuchte	%	15,2
X ₂	Abstehtzeit	min	21
X ₃	Mahlspalt	mm	0,3

Tabelle 49: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X ₁	Feuchte	%	14,9
X ₂	Abstehtzeit	min	41
X ₃	Mahlspalt	mm	0,3

Tabelle 50: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70

Variable	Bezeichnung	Einheit	Optimalwerte
X ₁	Feuchte	%	17
X ₂	Abstehtzeit	min	40
X ₃	Mahlspalt	mm	0,3

8.3.1.1 Wirkung der Variablen am Optimum auf die Ausbeute

Den stärksten Einfluss auf die Ausbeute hat der Mahlspalt. Bei enger werdendem Mahlspalt und dadurch erzielttem hohen Anteil an Feingut wurden höhere Ausbeuten gemessen. Mit größer werdendem Mahlspalt stieg bei der Sorte Seredo der Anteil an groben Grieben und Schroten. Dadurch fielen die Ausbeutewerte linear ab. Die Abstehtzeit ist die Größe mit dem zweitstärksten Einfluss. Die Wirkung ist aber geringer. Mit zunehmender Abstehtzeit fiel der Anteil des Feingutes auch hier linear ab. Diese Werte liegen jedoch unter 1 % der errechneten Ausbeutewerte. Die Größe „Feuchte“ übte keine sichtbaren Veränderungen an den Ausbeutewerten aus.

Bei der Sorte AL70 übten alle angewendeten Einflussgrößen einen großen Einfluss auf die Zielgrößen aus. Bei der Erhöhung des Feuchtegehaltes wurde eine höhere Ausbeute erreicht. Die längere Abstehtzeit ließ den Ausbeutewert linear abfallen. Bei dem kleinsten Mahlspalt fiel wie erwartet eine höhere Ausbeute an. Bei größer werdendem Mahlspalt sanken die Werte eindeutig (nahezu linear) ab. Eine längere Abstehtzeit und ein größer werdender Mahlspalt verursachten auch bei der Sorte Birmash eine linear fallende Ausbeute der errechneten Werte, wobei die Erhöhung der Feuchte von 13 % auf 15 % die Ausbeute um fast 2 % fallen und ab 15 % leicht ansteigen ließ.

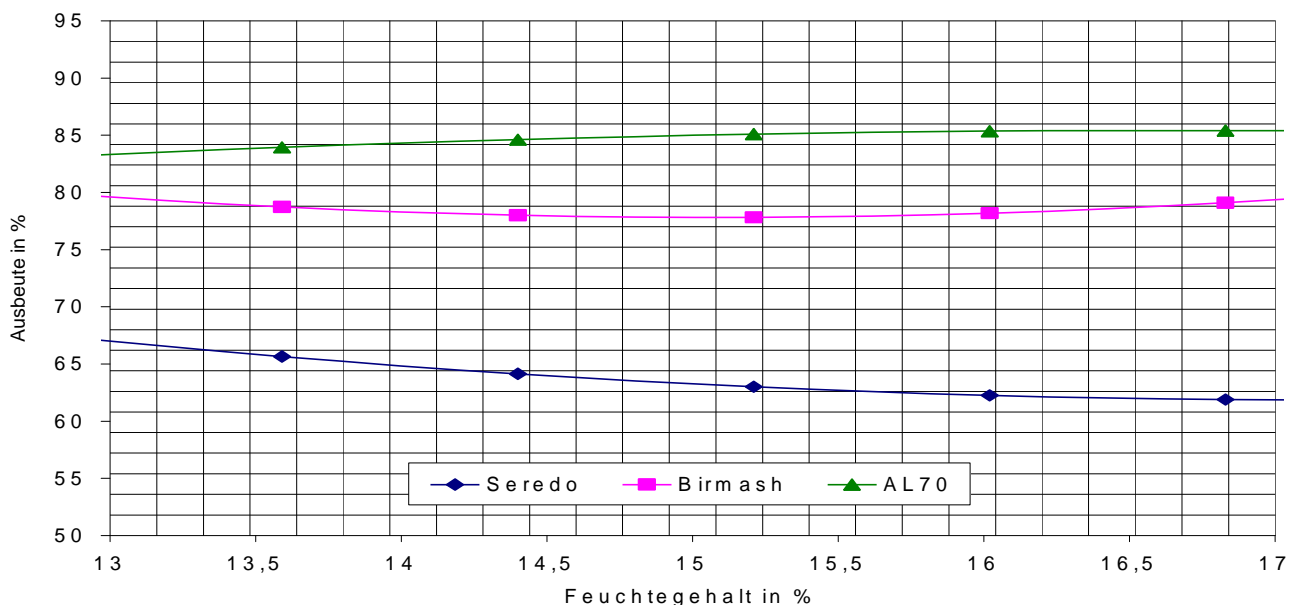


Abbildung 41: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Feuchte am Optimum

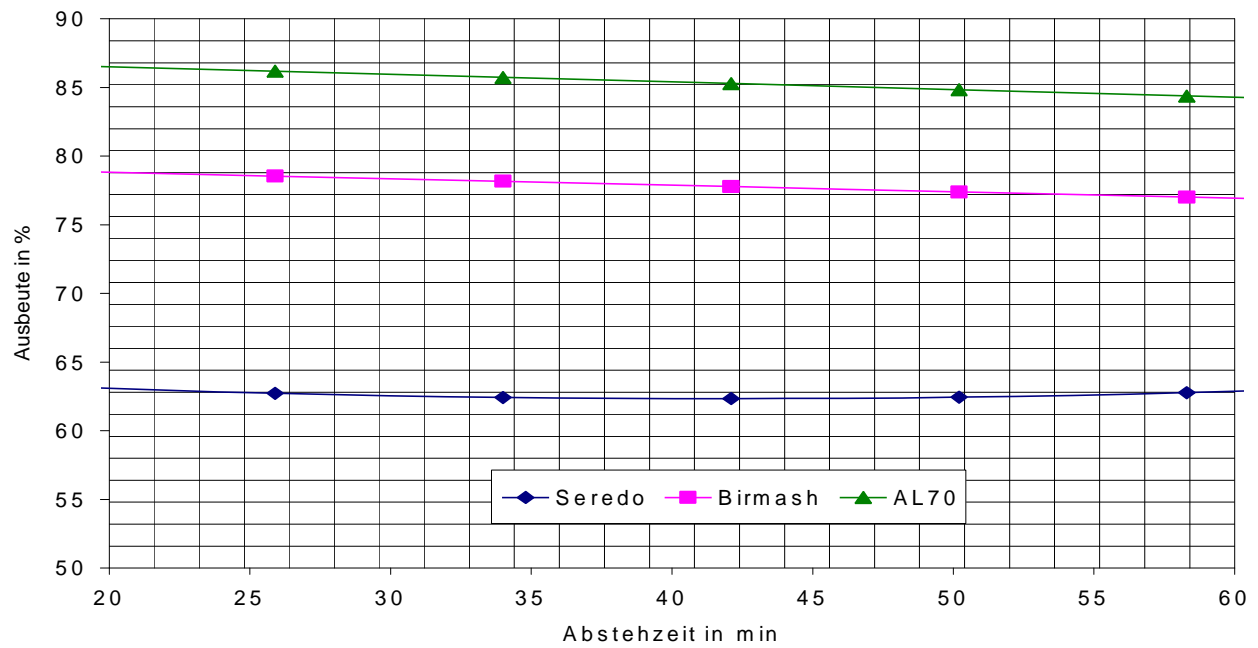


Abbildung 42: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Abstezeit am Optimum

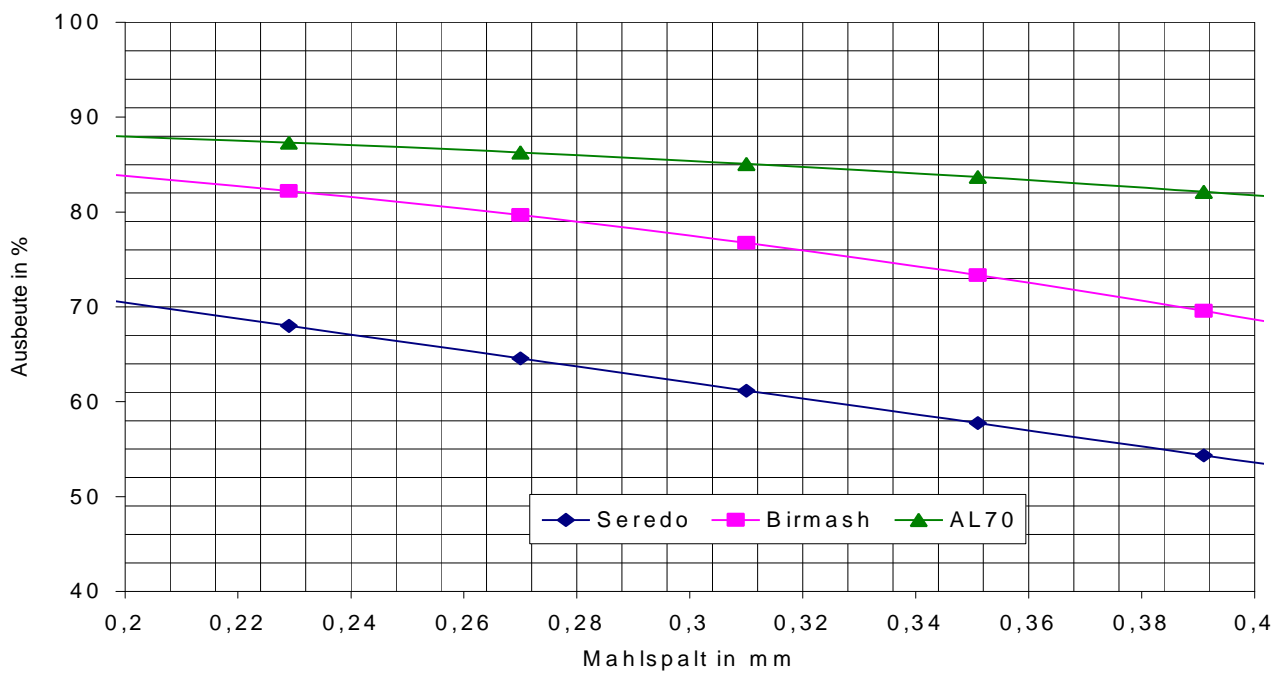


Abbildung 43: Veränderung der Ausbeute durch Variation des Mahlpaltes am Optimum

8.3.1.2 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Mineralstoffgehalt

Der Mineralstoffgehalt der Sorte Seredo wird durch längere Abstehtzeit positiv beeinflusst. Die Abnahme des Mineralstoffgehaltes zeigt leicht degressiv abfallende Werte. Sie liegt aber unter 0,1%. Mit größerem Mahlsplatt und höherer Feuchte konnten die Mineralstoffwerte linear abfallen, dies aber mit einem sehr geringen Unterschied. Die Einflussparameter konnten im allgemeinen keine nennenswerte Auswirkung erzielen.

Den Mineralstoffgehalt der Sorte AL70 beeinflusste keine der veränderten Einflussgrößen. Die Erhöhung des Feuchtegehaltes, die längere Abstehtzeit sowie größer werdender Mahlsplatt zeigten zwar linear fallende Werte, die allerdings nur um 0,05 % vermindert wurden.

Bei der Sorte Birmash verhielt sich der Mineralstoffgehalt genauso wie bei den Sorten Seredo und AL70. Es wurden keine nennenswerten Veränderungen erreicht.

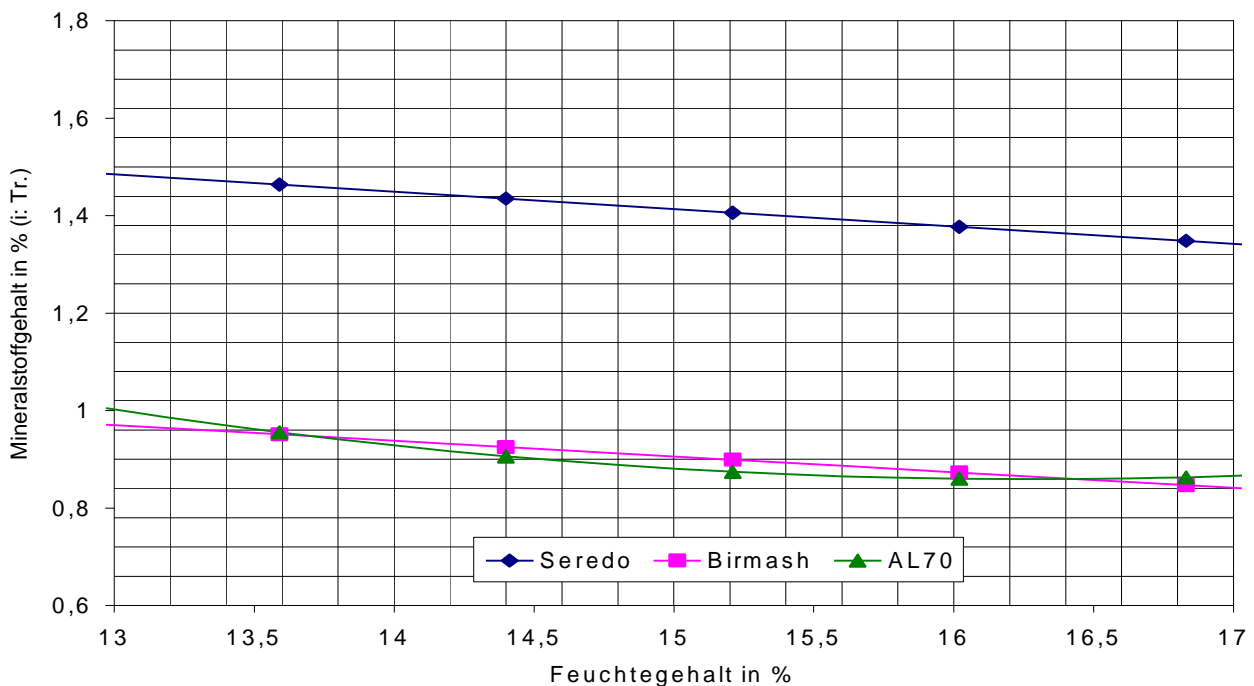


Abbildung 44: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum

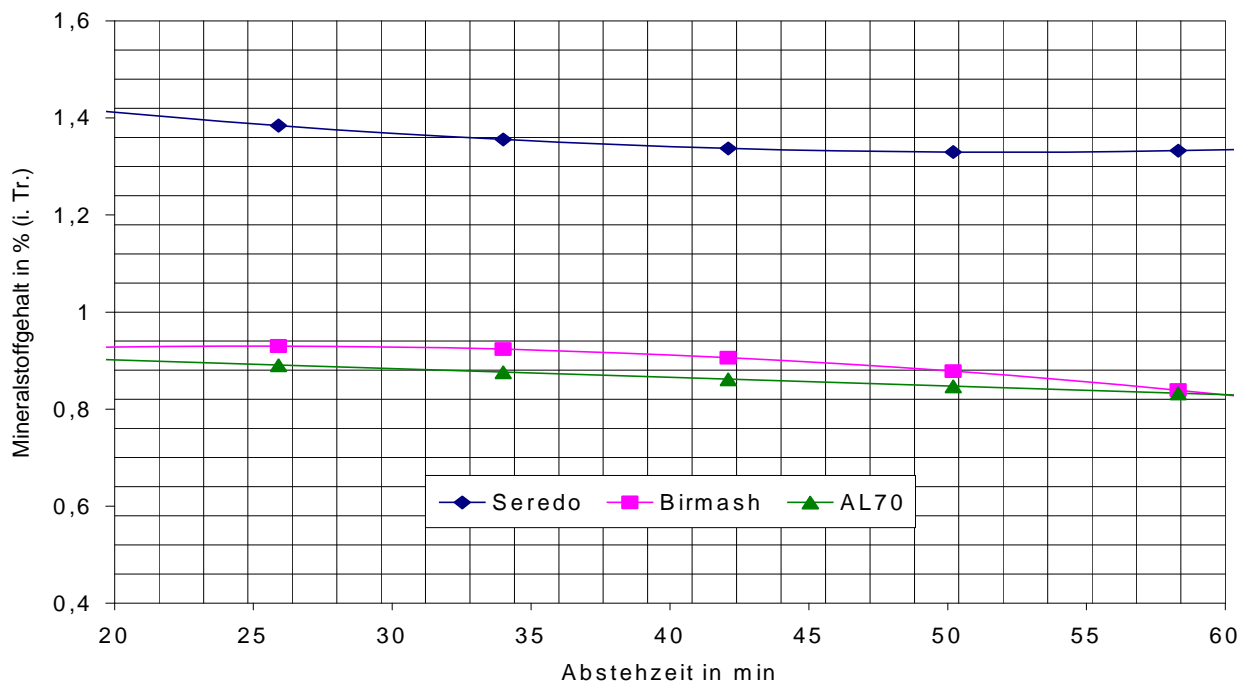


Abbildung 45: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum

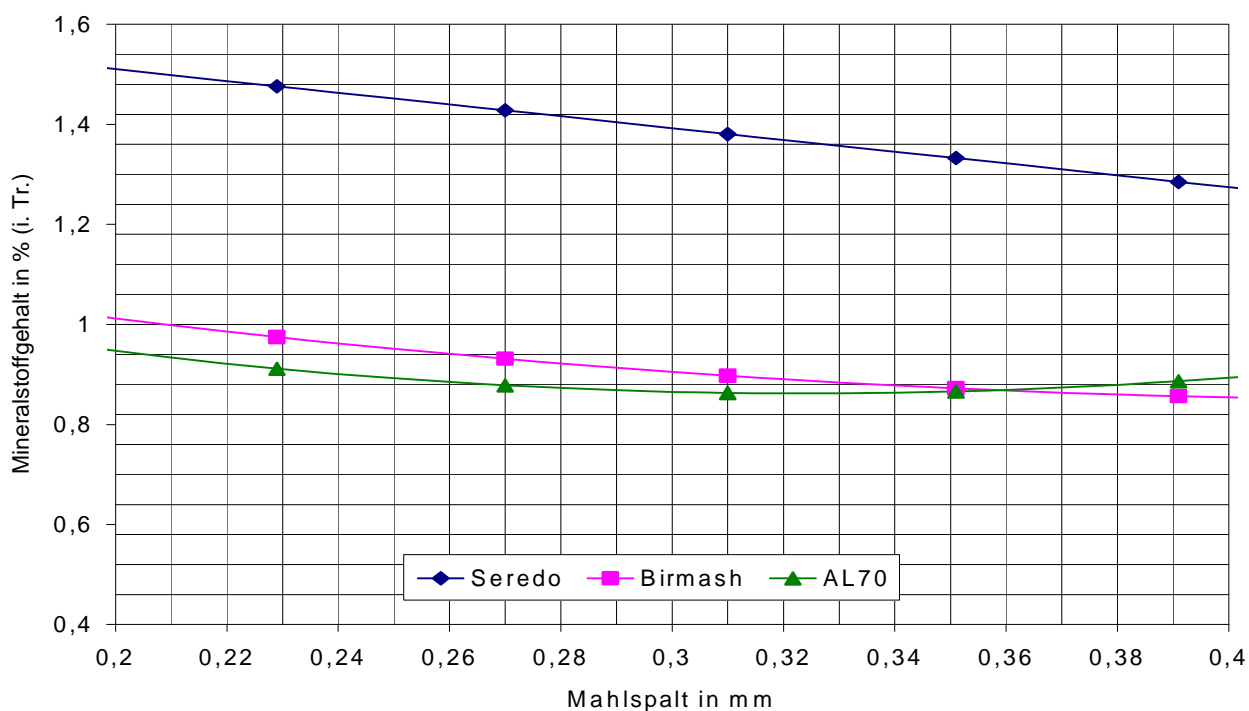


Abbildung 46: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum

8.3.1.3 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Fettgehalt

Die Erhöhung der Feuchte steigerte den Fettgehalt des Mahlproduktes der Sorte Seredo nahezu linear. Dagegen ließ ein größerer Mahlspace den Fettgehalt sinken, die Abstehtzeit übte keinen sichtbaren Einfluss aus. Die fettärmsten Produkte werden bei kürzerer Abstehtzeit, niedrigerem Feuchtegehalt und großem Mahlspace erzielt.

Der Fettgehalt der Sorte AL70 wurde durch Erhöhung des Feuchteanteils linear gesenkt. Mit dem größer werdenden Mahlspace nahm der Fettgehalt wie üblich ab. Die Abstehtzeit übte auf die Fettwerte fast keinen Einfluss aus. Im Gegensatz zu der Sorte Seredo konnte mit einem niedrigeren Feuchtegehalt, einem größer werdenden Mahlspace und einer längeren Abstehtzeit ein fettarmes Produkt erzielt werden.

Ein höherer Feuchtegehalt, eine längere Abstehtzeit und ein größer werdender Mahlspace bewirkten bei der Sorte Birmash eine lineare Abnahme des Fettgehaltes. Die Abnahme liegt aber unter 0,5 %.

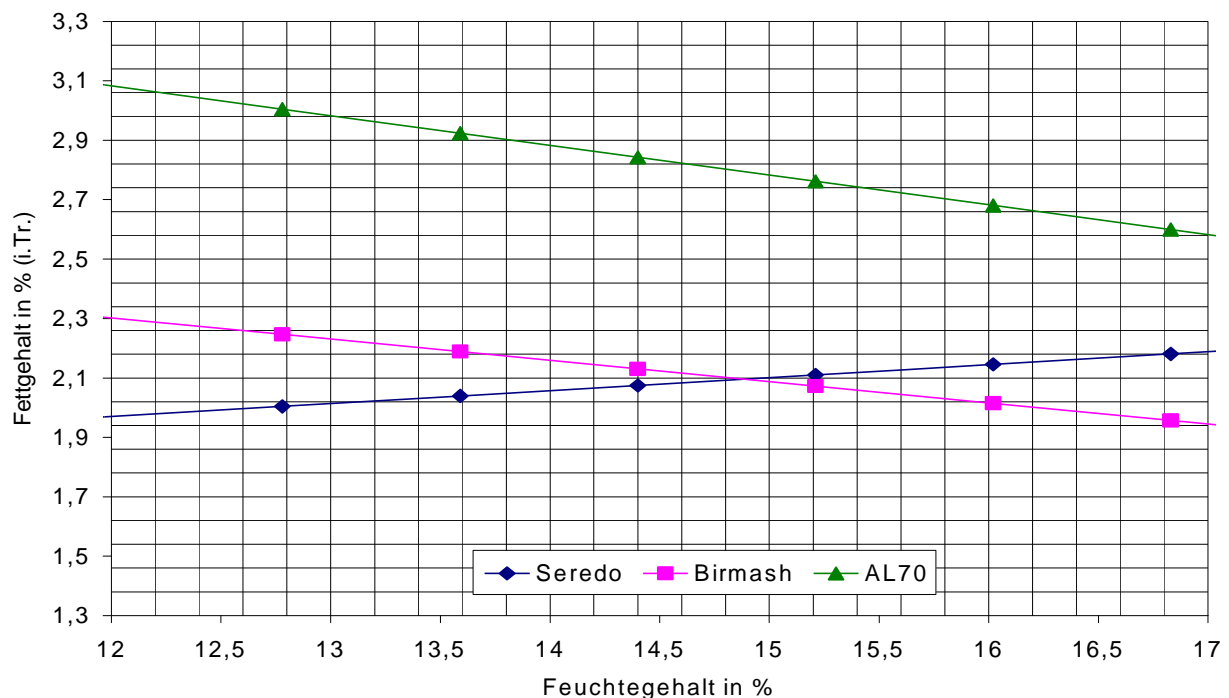


Abbildung 47: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum

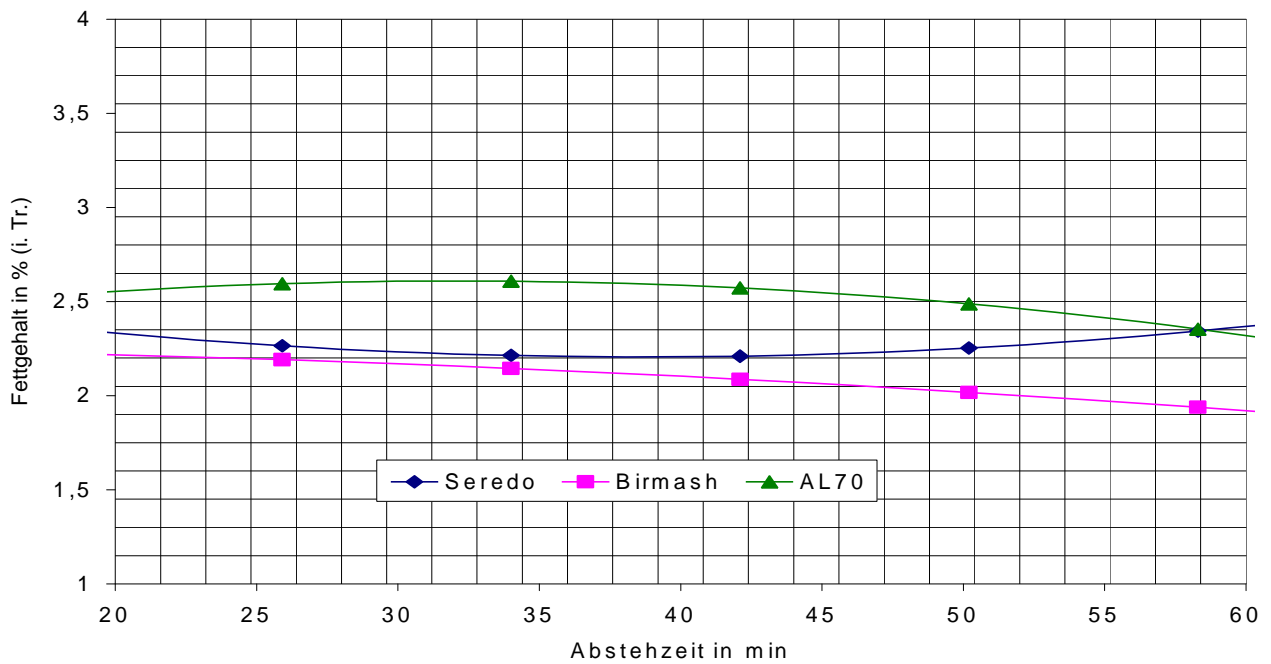


Abbildung 48: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Abstezeit am Optimum

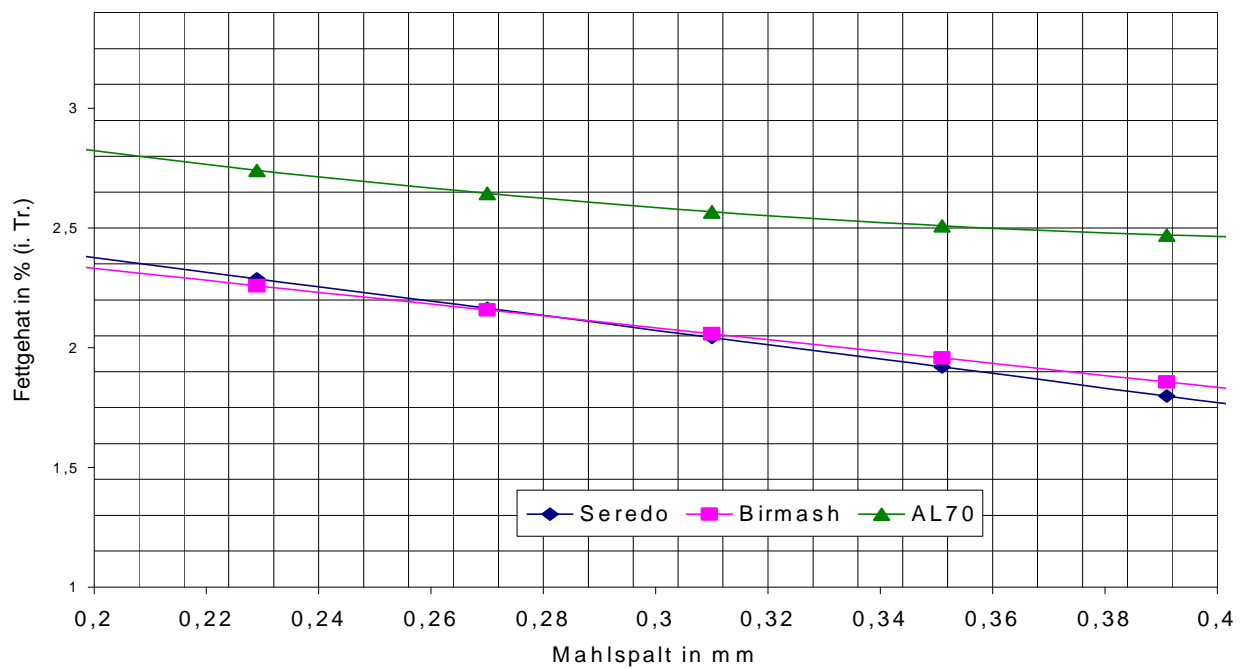


Abbildung 49: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation des Mahlsaltes am Optimum

8.3.1.4 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Rohproteingehalt

Auf Grund der gleichmäßigen Verteilung des Proteins im Korninneren der Sorte Seredo wurde der Proteingehalt nur sehr wenig von allen Einflussparametern beeinflusst. Ein höherer Feuchtegehalt ließ die Werte leicht ansteigen, wobei logischerweise eine längere Abstehtzeit die Werte verminderte. Diese Veränderungen liegen bei nur etwa 0,4%. Eine Änderung des Mahlspaltes konnte die Werte kaum beeinflussen.

Bei der Sorte AL70 bewirkten ein steigender Feuchtegehalt und ein größer werdender Mahlspalt einen leichten Anstieg (etwa 0,3- 0,5 %) des Proteingehaltes. Die Abstehtzeit übte hier keinen Einfluss aus.

Bei der Sorte Birmash ließen längere Abstehtzeit und größer werdender Mahlspalt den Wert linear fallen. Eine höhere Feuchte dagegen ließ die Werte leicht ansteigen. Wie bei den beiden anderen Sorten sind auch hier der Anstieg und die Minderung der Werte nicht größer als 0,5 %.

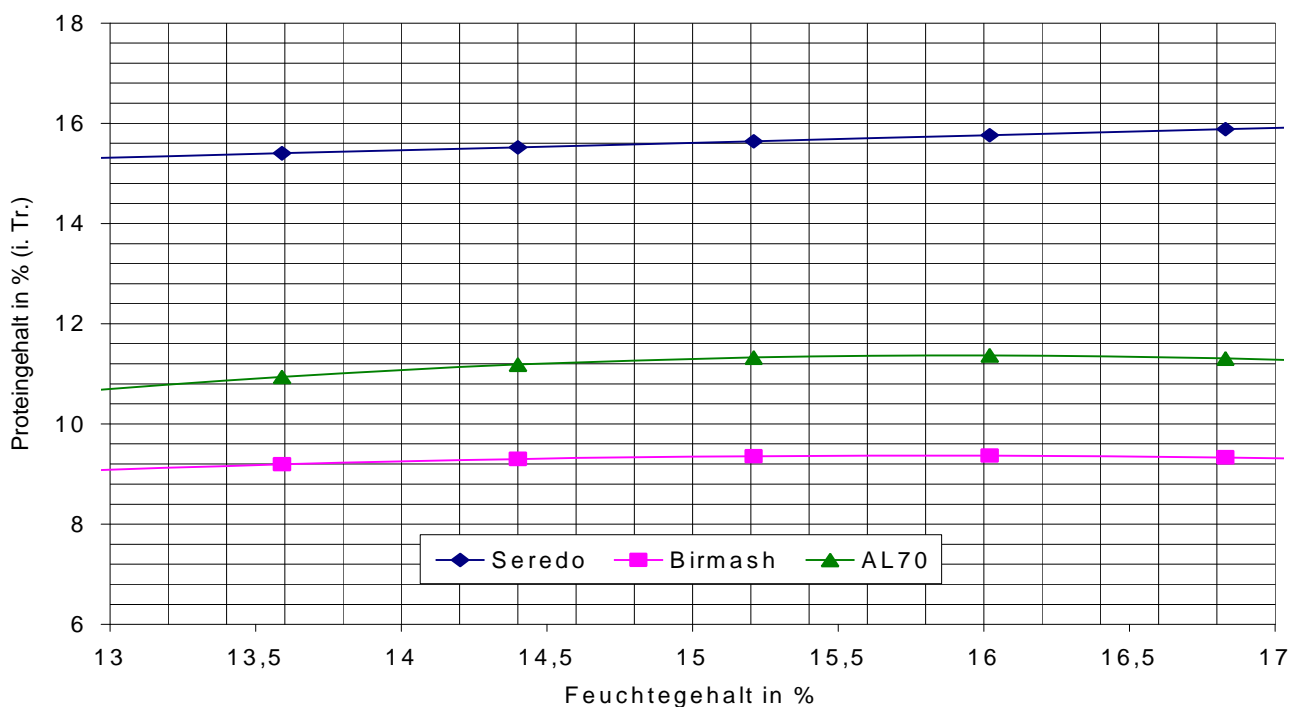


Abbildung 50: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum

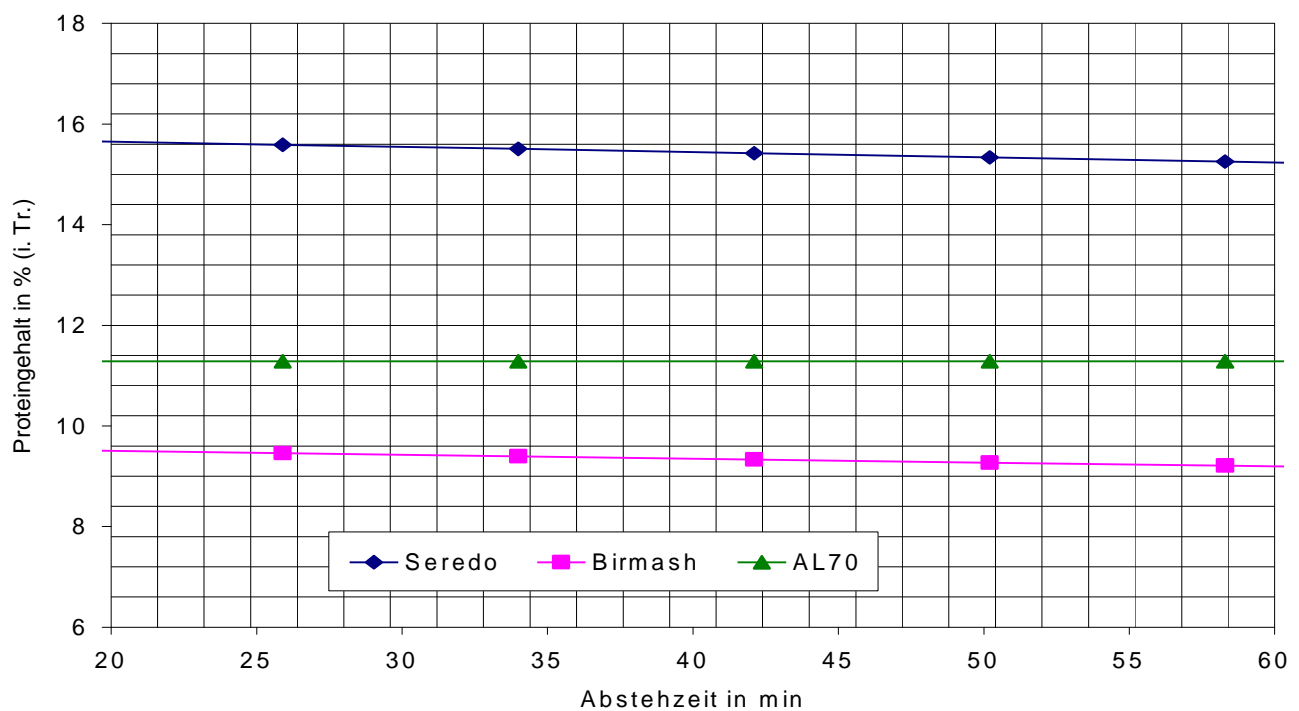


Abbildung 51: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Abstehezzeit am Optimum

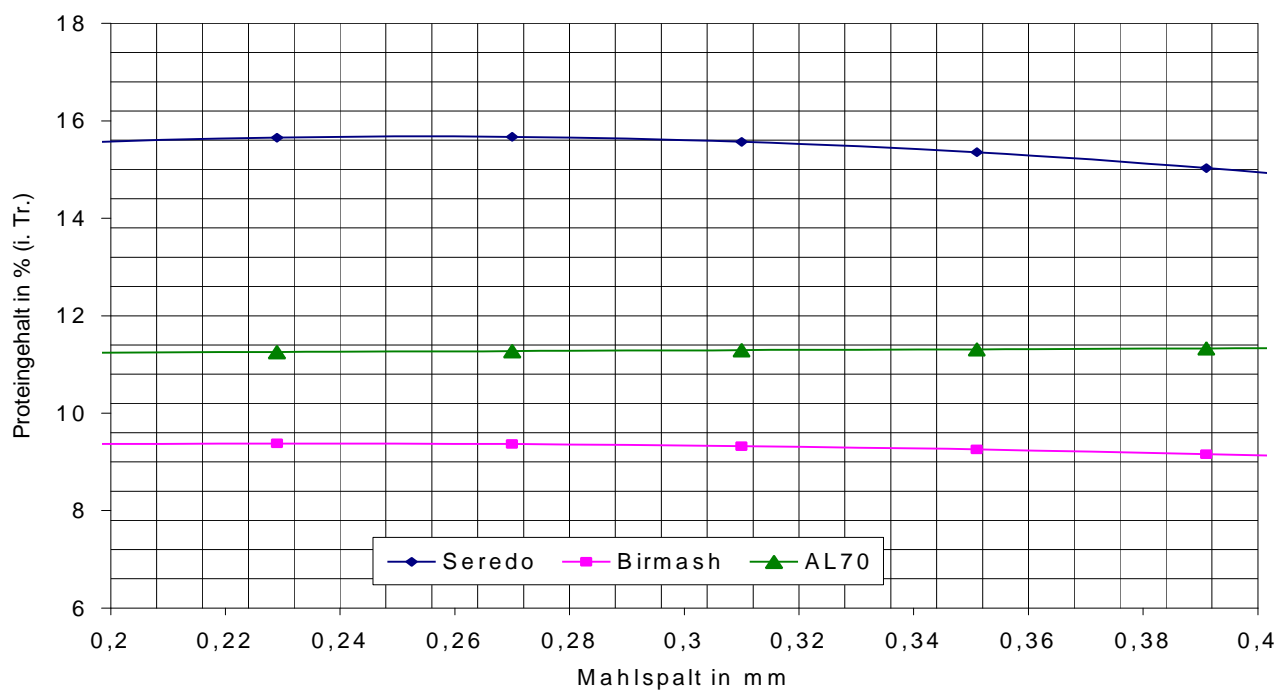


Abbildung 52: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation des Mahlspace am Optimum

8.3.1.5 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Stärkegehalt

Bei der Sorte Seredo haben alle Einflussgrößen den Stärkegehalt beeinflusst. Den größten Einfluss übte die Abstehtzeit aus. Bei einer Erhöhung der Abstehtzeit von 20 Minuten bis auf 42 Minuten fiel der Stärkegehalt um fast 7 % ab. Nach der 42. Minute aber erhöhte sich der Stärkegehalt wiederum um mehr als 3 %. Eine Erhöhung des Feuchtegehaltes von 13 % auf 15 % steigerte den Wert um mehr als 6 %, eine Feuchte von über 15 % senkte den Stärkegehalt leicht. Den geringsten Einfluss übte der Mahlspace aus. Eine Vergrößerung des Mahlspace von 0,2 mm auf 0,3 mm steigerte den Stärkegehalt um etwa 3 %. Ab 0,3 mm fiel der Wert leicht degressiv zurück.

Der Stärkegehalt der Sorte AL70 konnte durch die Veränderung des Mahlspace leicht beeinflusst werden. Bei größer werdendem Mahlspace von 0,2 mm auf 0,3 mm fiel der Stärkegehalt um etwa 1,7 % und bei einem Mahlspace ab 0,3 mm stieg der Stärkegehalt um den gleichen Wert an. Eine längere Abstehtzeit von 20 auf 40 Minuten steigerte die Werte degressiv um mehr als 3 %. Ab der 40. Minute fielen die Werte um mehr als 2% ab. Der Feuchtegehalt übte hier keinen Einfluss auf den Stärkegehalt aus.

Von allen Einflussparametern wurde der Stärkegehalt der Sorte Birmash positiv beeinflusst. Die Erhöhung des Feuchtegehaltes von 13 % bis auf 15,5 %, erhöhte den Stärkegehalt um mehr als 4 % und ab 15,5 % Feuchte fielen die Werte leicht ab. Eine Vergrößerung des Mahlspace von 0,2 mm auf 0,3 mm steigerte die Werte bis auf 3% und danach zeigten die Werte eine leichte Abnahme. Eine längere Abstehtzeit bis auf 43 Minuten steigerte die Werte ebenfalls um mehr als 2,6 % und ab der 43. Minuten fielen auch hier die Werte leicht ab.

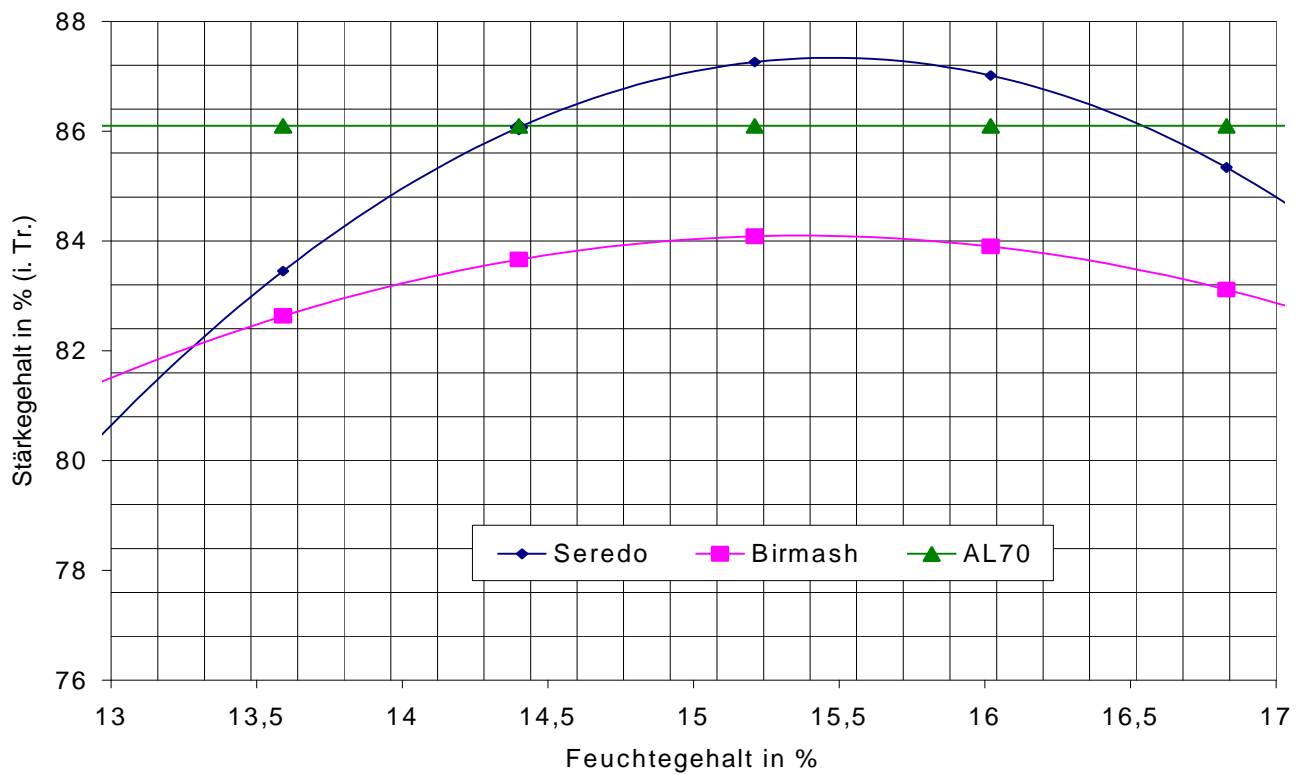


Abbildung 53: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum

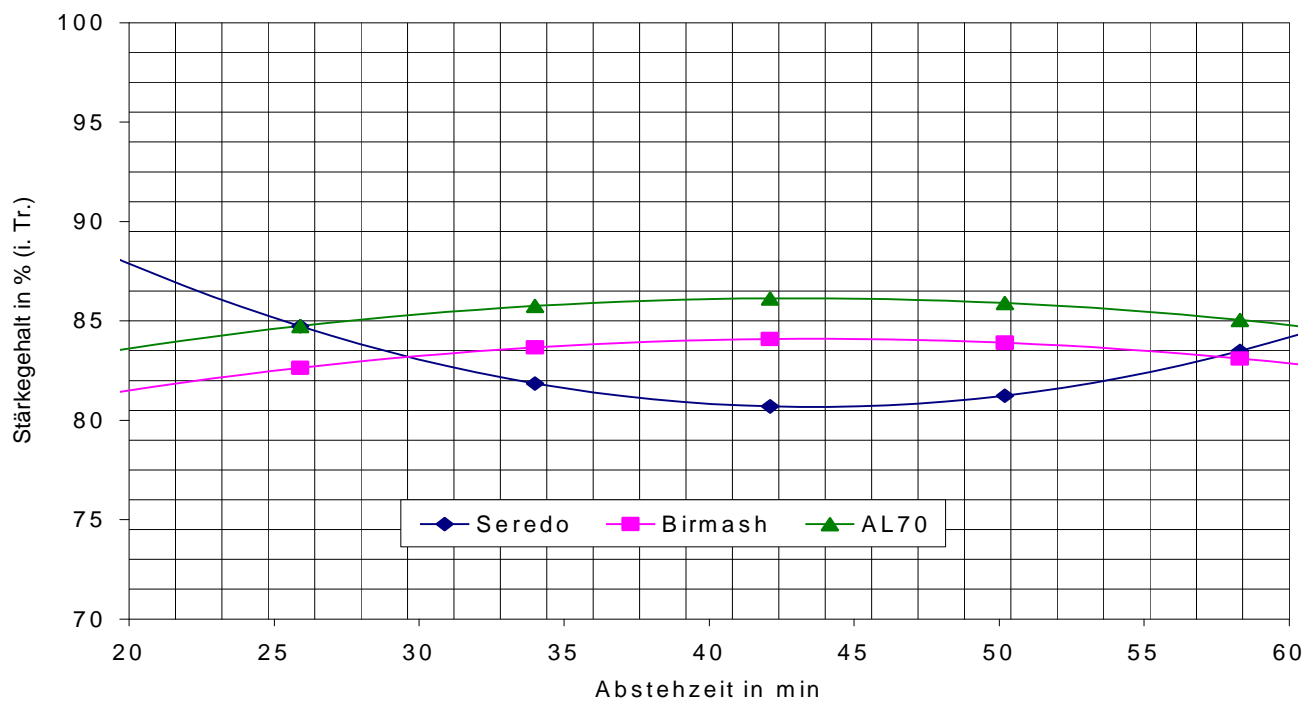


Abbildung 54: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Abstehtzeit durch Variation am Optimum

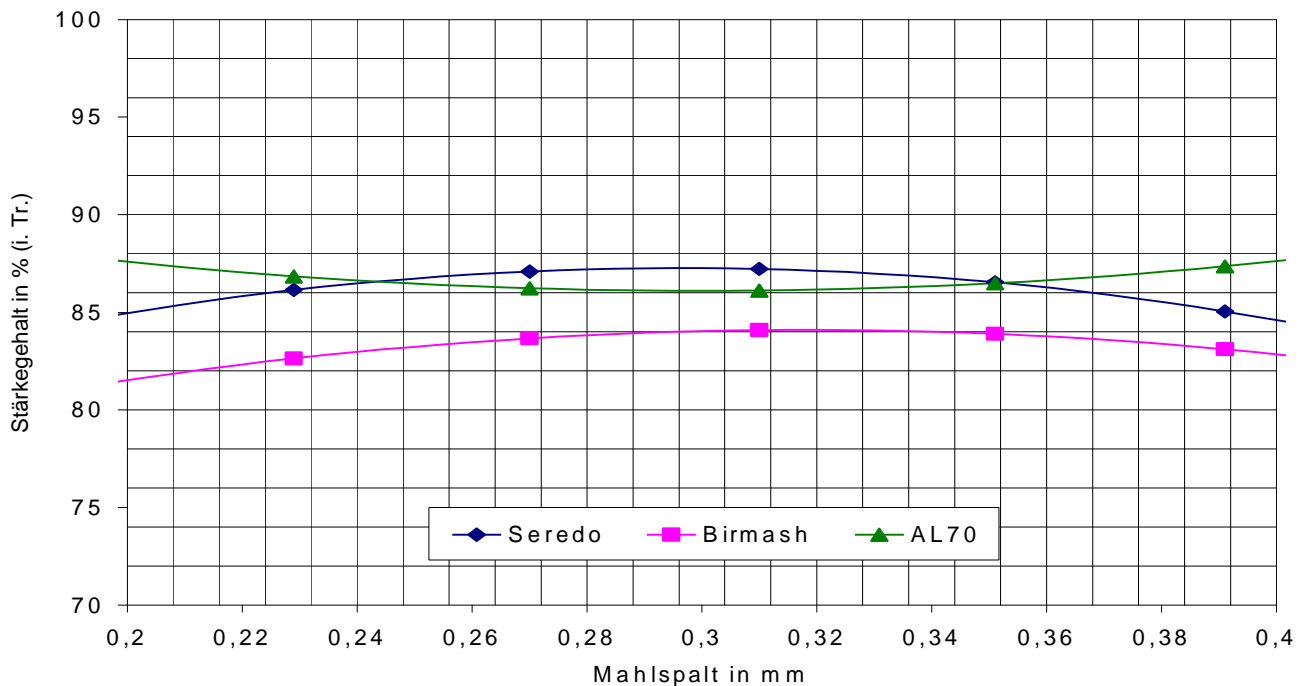


Abbildung 55: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum

8.3.1.6 Wirkung der Variablen am Optimum auf den Tanningehalt

Bei der Sorte Seredo haben ein höherer Feuchtegehalt und großer Mahlspalt sowie eine kürzere Abstehtzeit einen positiven Einfluss auf die Senkung des Tanningehaltes. Den größeren Einfluss übte der Feuchtegehalt aus. Eine Erhöhung des Feuchtegehaltes von 13 % bis auf 17 % minderte den Tanningehalt um die Hälfte. Ein größer werdender Mahlspalt minderte ebenfalls den Tanningehalt um mehr als 0,4 %. Bei einer längeren Abstehtzeit von 20 Minuten auf 60 Minuten stieg dagegen der Tanningehalt um etwa 0,3 %.

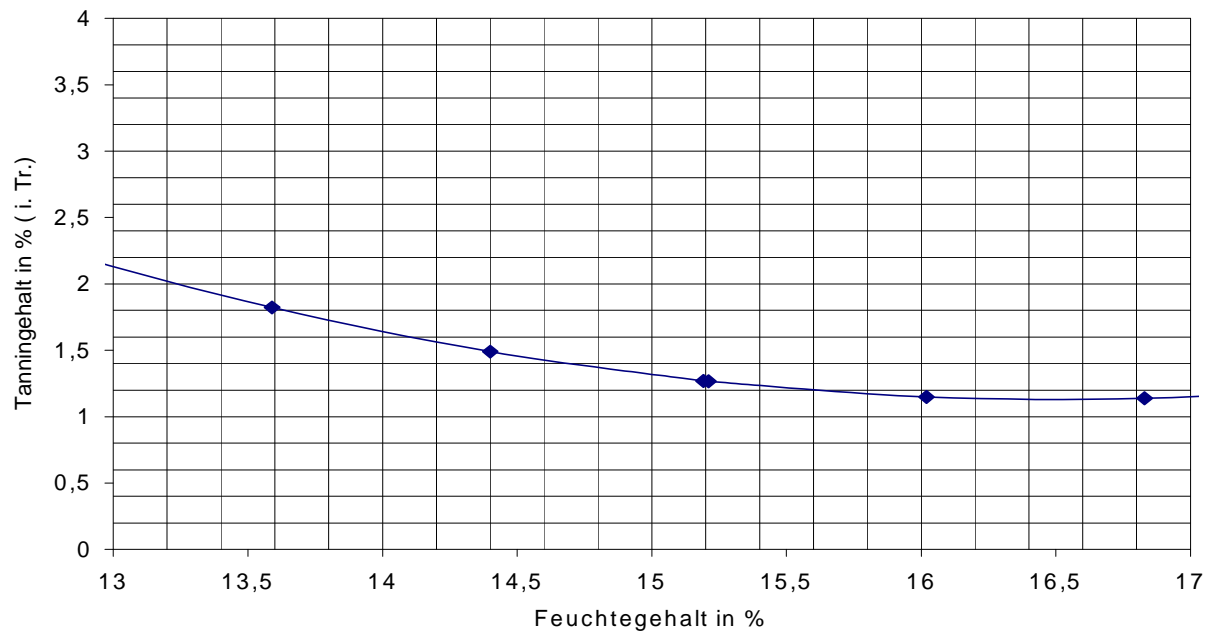


Abbildung 56: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Feuchte am Optimum

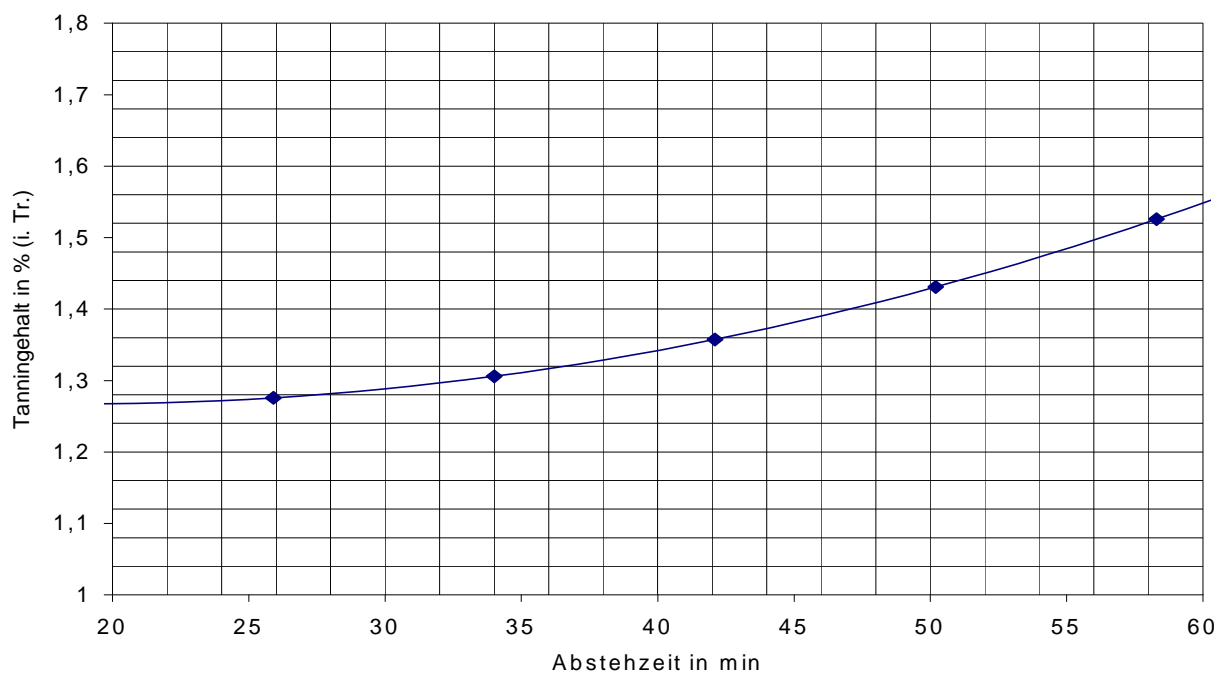


Abbildung 57: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehzeit am Optimum

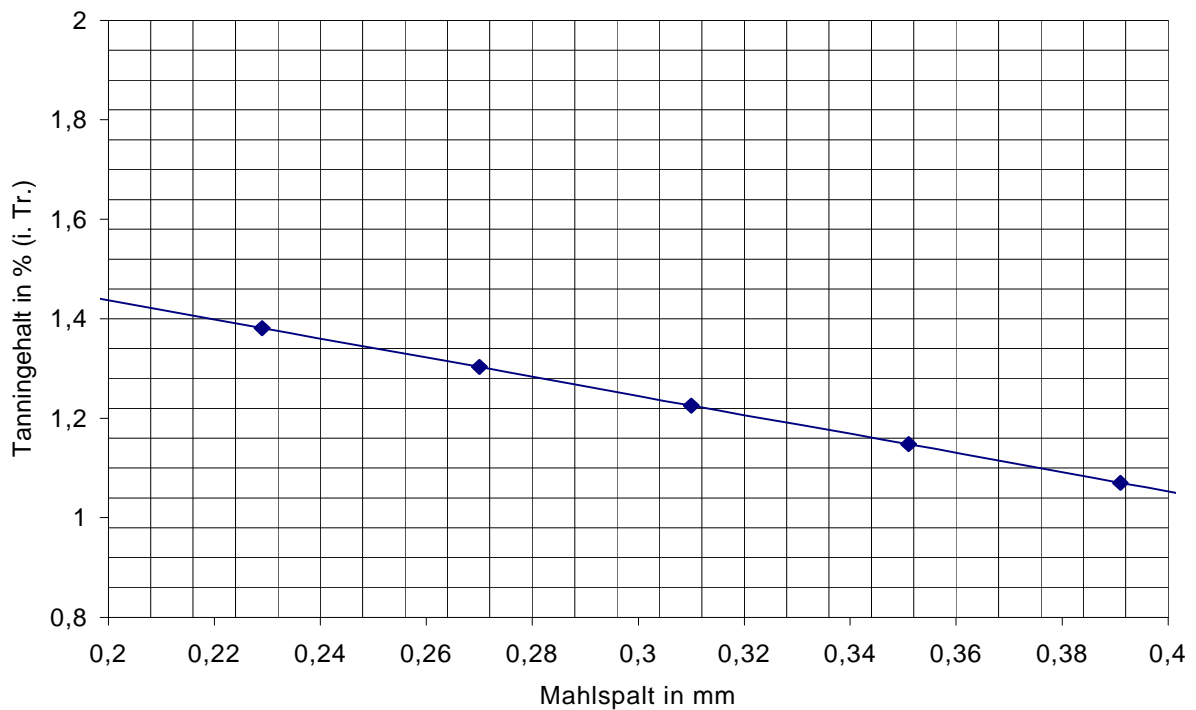


Abbildung 58: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation des Mahlspace am Optimum

8.3.1.7 Diskussion der Walzenvermahlung

Bei der Vermahlung der untersuchten Sorten wurden unterschiedliche Mahleigenschaften festgestellt.

Die Sorte Birmash ergab mehr Feingutanteil als die beiden anderen Sorten. Mit einem höheren Feuchtegehalt und größer werdendem Mahlspace wurde die Qualität des Mehles verbessert. Die Ausbeute der Korngrößenklasse ($<710 \mu\text{m}$) steigerte sich mit einem kleiner werdenden Mahlspace. Mahlgutmenge und Inhaltsstoffwerte verhalten sich indirekt zueinander.

Bei dieser Sorte konnten der Fettgehalt um 62 % und der Mineralstoffgehalt um 55 % gesenkt werden. Der Fettgehalt lag bei einem Feuchtegehalt von 17 % um 0,4 % niedriger als bei einem Feuchtegehalt von 13 % bei gleicher Abstehtzeit von 20 Minuten und konstantem Mahlspace von 0,4 mm. Die Ausbeute lag dagegen um 6 % höher. Dies zeigt, dass ein höherer Feuchtegehalt die Abnahme des Fettgehaltes ermöglicht. Der Mineralstoffgehalt verhielt sich genauso wie der Fettgehalt. Mit kleiner werdendem Mahlspace konnte eine Zunahme der Ausbeute

kleiner 710µm festgestellt werden. Die Änderung des Mahlspaltes von 0,4 mm auf 0,2 mm bei jeweils 13 % Feuchte und 20 Minuten Abstehtzeit brachte fast einen 18 % höheren Gutanfall der Fraktion <710 µm (von 68,8 % auf 86,2 %). Die intensivere Zerkleinerung infolge Mahlspaltverengung führte zu einer geringen Erhöhung des Fett- und Mineralstoffgehaltes von 0,5 % bzw. 0,1 %.

Für die Vermahlung der Sorte Birmash mit dem Walzenstuhl sind ein enger Mahlspalt, niedriger Feuchtegehalt sowie eine kurze Abstehtzeit zu empfehlen. Die intensive Zerkleinerung wirkt sich stärker positiv auf die Ausbeute, als negativ auf die Inhaltsstoffzunahme aus. So fällt eine relativ hohe Ausbeute mit vertretbar geringen Fett- und Aschewerten an.

Bei der Walzenstuhlvermahlung der Sorte AL70 konnte eine schonende Trennung von Schale und Endosperm erreicht werden. Dies wurde durch sehr hohe Ausbeuten bei kleineren Korngrößenfraktionen gegenüber den anderen Sorten sichtbar. Bei der Vermahlung dieser Sorte fiel eine höhere Griesmenge im Bereich 500 µm-710 µm an. Der Fettgehalt der Sorte AL70 konnte bis zu 58 % und der Mineralstoffgehalt um 43 % verringert werden. Die Erhöhung des Feuchtegehaltes von 13 % auf 17 % brachte nur geringe Änderungen bei den Fett- und Mineralstoffgehalten. Mit Veränderung des Mahlspaltes von 0,2 mm auf 0,4 mm traten größere Unterschiede in den Ausbeuten auf. So fiel z. B. die Ausbeute bei dieser Mahlspaltänderung (Gutfeuchte 13 %, Abstehtzeit 20 Minuten) um 12 % (von 89,61 % auf 77,69 %).

Die Fett- und Mineralstoffgehalte blieben dagegen fast identisch mit 2,97 % und 2,89 % beim Fett und 1,08 % sowie 1,04 % bei den Mineralstoffen. Für die Vermahlung der Sorte AL70 sind ebenso wie bei der Sorte Birmash ein enger Mahlspalt, ein niedriger Feuchtegehalt und eine kurze Abstehtzeit zu empfehlen.

Auf Grund nicht gut ausgebildeter Körner im Erntejahr 1997 gestaltete sich die Verarbeitung der Sorte Seredo durch den Walzenstuhl relativ schwierig. Die Ausbeute der Korngrößenklasse <710 µm fiel im Vergleich zu den anderen Sorten sehr niedrig aus. Bei der Vermahlung fiel ein höherer Schrotanteil >1000 µm an. Um eine höhere Ausbeute an zerkleinertem Gut zu erreichen, wurde der Siebdurchgang kleiner 1000 µm ausgewählt. Durch die müllerische Aufarbeitung wurden bei der Probe 6 mit einem Feuchtegehalt von 17%, einer Abstehtzeit von 20 Minuten und einem Mahlspalt von 0,4 mm etwa 50 % des Fettgehaltes, etwa 30 % des Mineralstoffgehaltes und etwa 75 % des Tanningehaltes entfernt. Diese Parameter sind zur Verarbeitung der Sorte Seredo zu empfehlen.

Die Erhöhung des Feuchtegehaltes auf 17 % minderte den Tanningehalt etwa um die Hälfte gegenüber einer Feuchte von 13 %.

Bei einer Erhöhung der Abstehtzeit von 20 Minuten auf 60 Minuten mit gleichbleibendem Feuchtegehalt(17%) und Mahlpalt (0,4mm) lag die Ausbeute <1000 µm um 2,5 % niedriger, der Tanningehalt stieg jedoch um 0,2%.

Die Abstehtzeit spielte eine geringere Rolle als Feuchtegehalt und Mahlpaltgrösse. Die Vermahlung der Sorte Seredo mit einer kurzen Abstehtzeit und einem höheren Feuchtegehalt führte zu einer besseren Abtrennung der tanninhaltigen Schalenschicht und steigerte den Stärkegehalt auf 86 %.

Bei allen drei Sorten wirkten die Einflussparameter Feuchtegehalt, Abstehtzeit und Mahlpalt unterschiedlich. Es wurde festgestellt, dass die Abstehtzeit den geringsten Einfluss auf die Vermahlung ausübte. Diese Erkenntnis unterstützt das Ziel dieser Arbeit, mit geringem Einsatz von Wasser, verbunden mit einer kurzen Abstehtzeit Sorghum zu vermahlen, um den in den sorghumverarbeitenden Ländern herrschenden Wassermangel zu begegnen und die Kontaminationsgefahr durch Mikroorganismen und Verunreinigungen zu vermeiden. Durch den Einsatz des Walzenstuhles zur Zerkleinerung konnte bei den Sorten AL70 und Birmash ein akzeptables und empfehlenswertes Produkt hergestellt werden. Das Ziel, eine Verringerung des Fett- und Mineralstoffgehaltes im zerkleinerten Produkt mit akzeptabler Ausbeute, wurde erreicht. Bei der Sorte Seredo konnte dies nicht erreicht werden, da die Ausbeute infolge der schlechten Kornausbildung sehr gering ausfiel.

8.4 Darstellung der Extrusionsversuche

Die Extrusionsversuche wurden, um die Aufgabenstellung zu realisieren, nach einer statistischen Versuchsplanung, dem Stochastischen Linearem Modell durchgeführt. Es ergibt sich daraus ein 2^3 – Versuchsplan, der alle Möglichkeiten der Kombination der Extrusionsparameter umfasst (Tabelle 14). Im Resultat entstehen 8 Versuche, die einen dreidimensionalen Raum in seinen Eckpunkten abgrenzen.

Nach dem Extrudieren wurden die Zielgrößen erfasst und in die Antwortmatrix eingetragen. (Tabelle 51, 52, und 53)

Tabelle 51: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte Seredo

Probe Nr.	SME	PT	SV	Expansionsindex	KWL	Volumen
1	141	149,05	9,75	8,07	23,26	7,69
2	80	114,19	13	5,55	11,25	3,49
3	128	148,15	10	10,13	20,10	6,75
4	111	126,12	9	6,74	9,12	5,58
5	76	173,97	18,75	8,83	31,42	11,54
6	82	156,00	14	4,88	32,37	6,03
7	145	178,24	13,75	7,14	49,96	10,81

Tabelle 52: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte Birmash

Probe Nr.	SME	PT	SV	Expansionsindex	KWL	Volumen
1	80,32	129,33	15	12,86	40	8,09
2	69	112,46	14	3,74	12,79	4,15
3	121	132,14	18,5	12,25	32,2	8,25
4	104	109,45	14,25	3,75	12,42	3,8
5	77	175,16	17,5	12,33	48,1	15,6
6	89,20	155,10	17	3,25	35,97	6,34
7	98	177,9	16,5	11,83	61,62	17,72
8	92	167,26	16	4	44,44	8,89

Tabelle 53: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte AL70

Probe Nr.	SME	PT	SV	Expansionsindex	KWL	Volumen
1	91,8	136,31	15,5	10,89	28,98	7,29
2	54	109,93	12,5	2,69	9,2	4,45
3	131	142,64	15,5	11,7	34,63	9,65
4	78	114,68	14	3,89	14,89	3,73
5	78	181,49	18	11,7	48,33	19,91
6	63	158,65	17,75	2,42	22,3	5,61
7	107	183,05	14,5	7,65	53,31	16,88
8	78	164,22	18	1,77	24,03	7,37

SME = Spezifische mechanische Energieeinleitung

PT = Produkttemperatur in °C

SV = Sedimentvolumen in ml/g

KWL = Kaltwasserlöslichkeit in %TS

Die Koeffizienten der Regressionsgleichung wurden mittels eines Statistikprogrammes berechnet. Am Ende wurden die Funktionen für die Extrusionsversuche ermittelt (Tabelle 54, 55 und 56.)

Tabelle 54: Errechnete Funktionen für die Sorte Seredo

Antwortgrößen	Konstante	X ₁	X ₂	X ₃
SME	109,5	-3,25	0,295	0
PT	181	-3,235	0	0,301
SV	12,9	0	-0,938	0,050
Expansionsindex	9,206	-0,256	0,014	0
KWL	24,8	-6,365	0	8,888
Volumen	7,211	-1,986	0	1,334

Tabelle 55: Errechnete Funktionen für die Sorte AL70

Antwortgrößen	Konstante	X ₁	X ₂	X ₃
SME				
PT	148,9	-3,00	0,046	
SV	15,7	0	0	1,350
Expansionsindex	6,59	-3,896	0	0
KWL	29,5	-11,85	2,256	7,534
Volumen	9,36	-4,071	0	3,081

Tabelle 56: Errechnete Funktionen für die Sorte Birmash

Antwortgrößen	Konstante	X_1	X_2	X_3
SME	91,3	0	12,5	0
PT	144,5	-8,75	1,75	24
SV	16,1	-0,775	0	0,650
Expansionsindex	8,00	-4,316	0	-0,149
KWL	35,9	-9,534	0	11,59
Volumen	9,105	-3,310	0	3,033

8.4.1 Einfluss der Extrusionsparameter auf die spezifische mechanische Energieeinleitung (SME)

Den größten Einfluss hatte bei der Sorte Birmash die Drehzahl (Abb. 59). Die SME stieg mit steigender Drehzahl linear an. Der Feuchtegehalt und die Gehäusetemperatur dagegen übten keinen Einfluss aus. Die Abhängigkeit der SME von den Extrusionsparametern bei der Sorte Seredo zeigt Abb. 58. Bei dieser Sorte wurde die SME von den Parametern Feuchtegehalt und Drehzahl stark beeinflusst. Der Einfluss der Gehäusetemperatur blieb konstant. Bei sinkendem Feuchtegehalt und steigender Drehzahl stiegen die Werte der SME an. Dieser Zusammenhang bedeutet, dass durch Vergrößerung der Schneckendrehzahl eine stärkere Energiedissipation stattfindet.

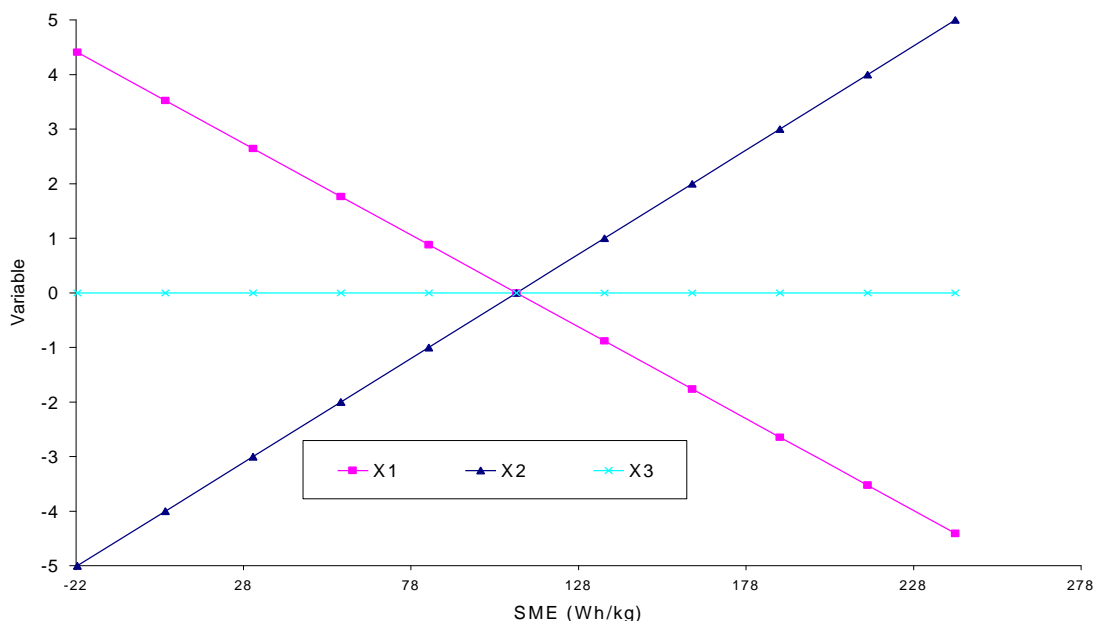


Abbildung 59: spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME) der Sorte Seredo in Abhängigkeit der Einflussparameter

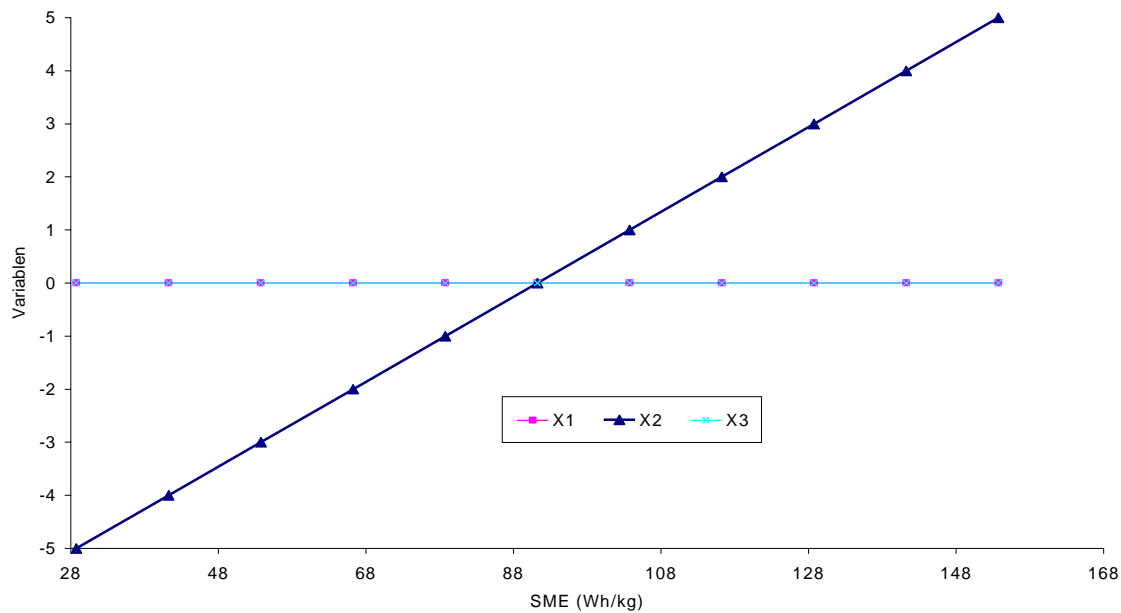


Abbildung 60: spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME) der Sorte Birmash in Abhängigkeit der Einflussparameter

8.4.2 Einfluss der Extrusionsparameter auf die Produkttemperatur

Die Produkttemperatur steigt logischerweise durch die Erhöhung der Gehäusetemperatur und des sinkenden Wassergehaltes.

Die Produkttemperatur kann auch durch Erhöhung der Drehzahl mit einem niedrigeren Wassergehalt gesteigert werden.

Durch kontrollierte Kühlung hinter den Plastifizierungszonen kann die Produkttemperatur reguliert werden.

Der Einfluss der Prozessparameter auf die Produkttemperatur zeigt bei allen Sorten die gleiche Tendenz. Sinkender Feuchtegehalt und steigende Gehäusetemperatur führen zu höheren Produkttemperaturen. Sie resultieren aus den in das Gut eingetragenen SME Werten. Der Einfluss der Drehzahl auf die Produkttemperatur war erstaunlicherweise sehr gering.

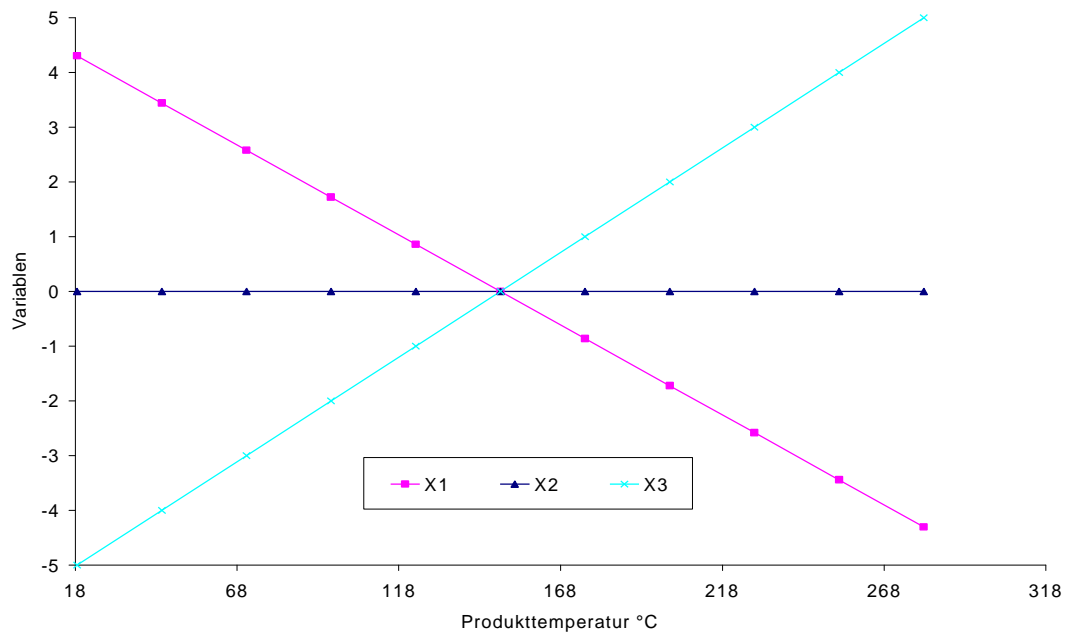


Abbildung 61: Produkttemperatur der Sorte Seredo in Abhängigkeit der Einflussparameter

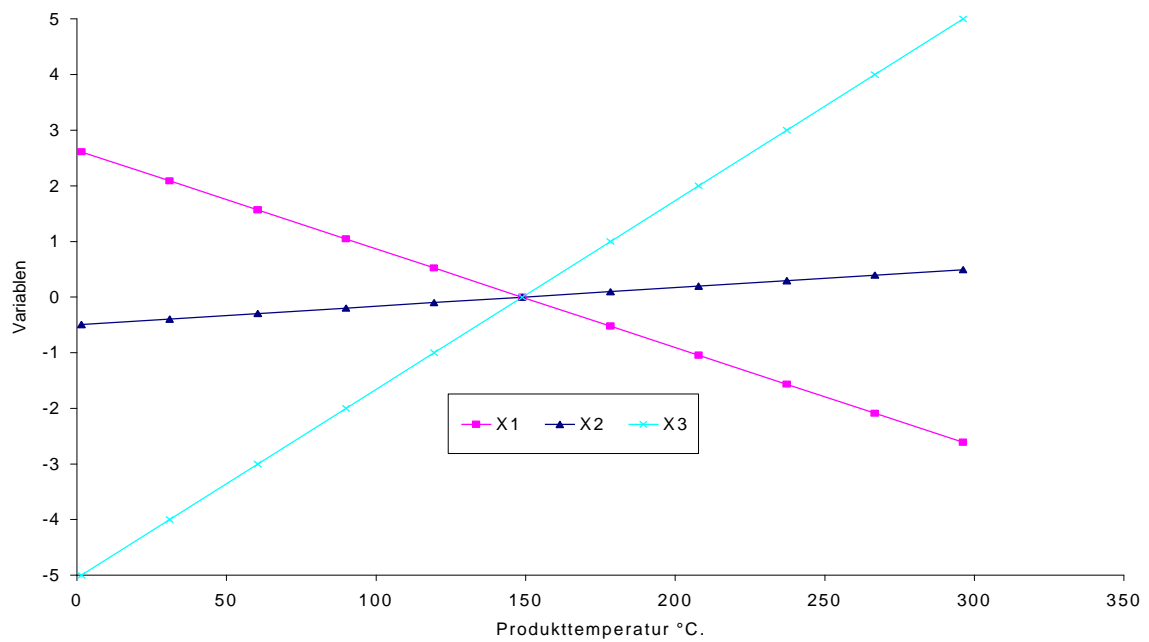


Abbildung 62: Produkttemperatur der Sorte AL70 in Abhängigkeit der Einflussparameter

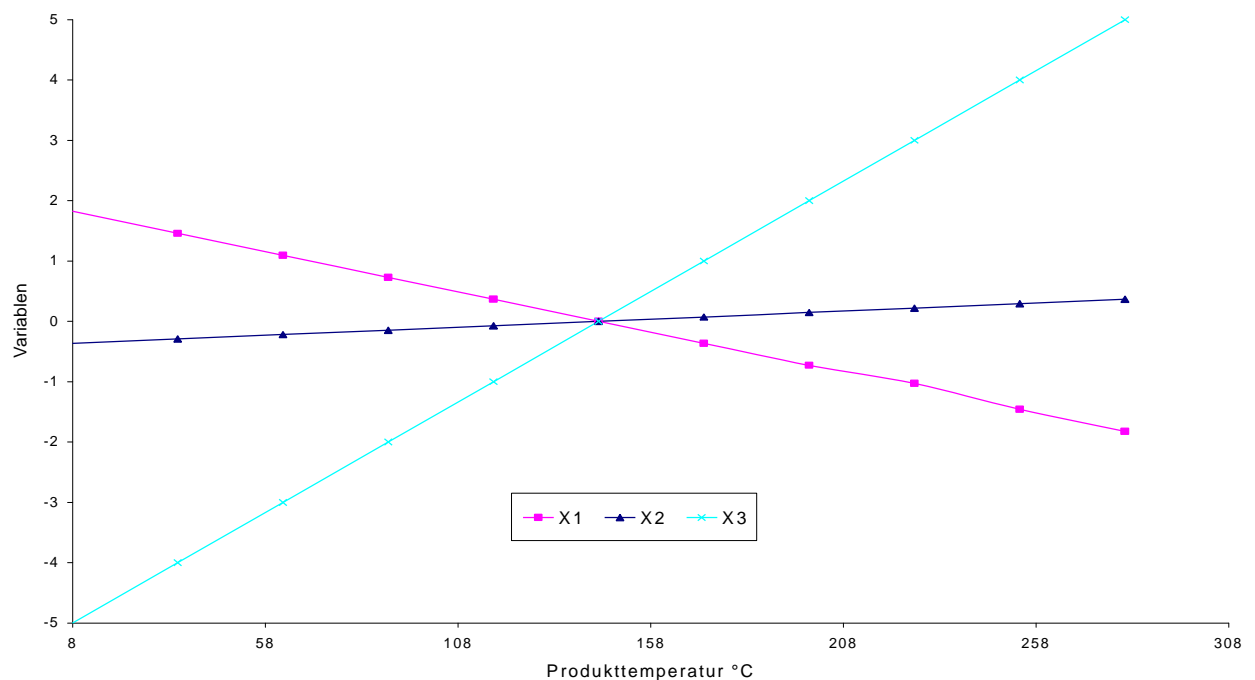


Abbildung 63: Produkttemperatur der Sorte Birmash in Abhängigkeit der Einflussparameter

8.4.3 Einfluss der Extrusionsparameter auf die morphologische Struktur der extrudierten Materialien

8.4.3.1 Expansion

Der Expansionsindex hat als charakteristische Größe von Fertigprodukten besondere Bedeutung. Der Expansionsindex wird durch die Einflussparameter Wassergehalt, Drehzahl und Gehäusetemperatur beeinflusst. Der Expansionsindex wird durch niedrigen Wassergehalt, höhere Gehäusetemperatur sowie durch höhere Drehzahl gesteigert. Bei einem relativ kleinen Düsendurchmesser vergrößert sich bei einem konstanten Massestrom der Extrusionsdruck vor der Düse. Die Druckdifferenz zwischen dem Extrusionsdruck und dem Umgebungsdruck vergrößert sich in gleichem Maße, so dass die plastifizierte Masse durch plötzliche Entspannung des Wasserdampfes zunimmt. Eine Zunahme des Massestroms bewirkt eine Erhöhung des Extrusionsdruckes. Außerdem steigert eine höhere Drehzahl den Extrusionsdruck. Der Feuchtegehalt beeinflusst bekanntlich das Plastifizierverhalten der Stärke. Ein höherer Feuchtegehalt bedeutet eine geringe Druckdifferenz, so dass beim Austritt aus der Düse nur eine geringe Menge Wasserdampf gebildet wird und die Expansion

ungenügend ist. Die höchsten Expansionsindexwerte werden bei der Extrusion reiner Stärke gemessen. Die maximale Durchmessersteigerung beträgt hier 500 %, gefolgt von Vollkornprodukten mit 400 %. Die Anwesenheit der Schalenteile in dem zu extrudierenden Material verursacht eine Abnahme des Expansionsindexes. Die Messwerte der Expansionsindices wurden in der Tabelle 52 zusammengefasst. Die höchsten Werte der Expansionsindices werden bei allen 3 Sorten bei höherer Drehzahl ($n = 300 \text{ min}^{-1}$) und niedrigerem Feuchtegehalt (16 %) erzielt. Die Gehäusetemperatur hat auf den Expansionsindex einen geringen Einfluss. Die maximale Durchmessersteigerung beträgt bei der Sorte Birmash etwa 367 %, bei der Sorte AL70 335 % und bei der Sorte Seredo 288 %.

Tabelle 57: Expansionsindex des extrudierten Sorghums

Probe Nr.	Einflussparameter			Expansionsindex		
	H ₂ O-Gehalt %	Drehzahl min^{-1}	Gehäusetemperatur $^{\circ}\text{C}$	AL70	Birmash	Seredo
1	16	200	60	10,89	12,86	8,07
2	24	200	60	2,69	3,74	5,55
3	16	300	60	11,7	12,25	10,13
4	24	300	60	3,89	3,75	6,74
5	16	200	160	11,7	12,33	8,83
6	24	200	160	2,42	3,25	4,88
7	16	300	160	7,65	11,83	7,14
8	24	300	160	1,77	4	-
9	20	250	110	8,08	8,64	8,81

8.4.3.2 Volumen

Das Volumen steht in engem Zusammenhang zum Expansionsgrad. Da ein höherer Feuchtegehalt feste und kleine Extrudate ergibt, wurden bei einem höheren Feuchtegehalt und niedrigen Drehzahlen kleinere Werte ermittelt. Bei den Sorten AL70 und Seredo weist die Probe 5 ein höheres Volumen des Extrudates auf. Bei der Sorte Birmash zeigt Probe 7 ein höheres Volumen. Hier sind der niedrigere Wasserstrom und die höhere Gehäusetemperatur

ausschlaggebend. Die Drehzahl übte keinen Einfluss aus. Tabelle 58 zeigt die gemessenen Werte.

Tabelle 58: Volumen des extrudierten Sorghums

Probe Nr.	Einflussparameter			Volumen g/ml		
	H ₂ O-Gehalt %	Drehzahl min ⁻¹	Gehäusetemperatur °C	AL70	Birmash	Seredo
1	16	200	60	7,29	8,09	7,69
2	24	200	60	4,45	4,15	3,49
3	16	300	60	9,65	8,25	6,75
4	24	300	60	3,73	3,8	5,58
5	16	200	160	19,91	15,6	11,54
6	24	200	160	5,61	6,34	6,03
7	16	300	160	16,88	17,72	10,81
8	24	300	160	7,37	8,89	-
9	20	250	110	6,11	6,33	5,8

8.4.4 Einfluss der Extrusionsparameter auf die funktionellen Eigenschaften der Extrudate

8.4.4.1 Sedimentvolumen

Die Hydratationskapazität extrudierter Stärke kann durch das Sedimentvolumen charakterisiert werden. Ein höheres Sedimentvolumen bedeutet eine höhere Hydratationskapazität. Dies ermöglicht indirekte Aussagen über Strukturänderungen der Stärke durch den Extrusionsprozess.

Die Auflösung von Haupt- und Nebervalenzbindungen kann vorausgesagt werden, die wiederum durch eine veränderte Viskosität zum Ausdruck kommen.

Höhere Sedimentvolumina wurden bei den Sorten AL70 und Birmash bei Probe 3 mit niedrigerem Feuchtegehalt und niedriger Gehäusetemperatur sowie höherer Drehzahl gemessen. Bei der Sorte Seredo wurde bei Probe 5 mit einem niedrigeren Wassergehalt und Drehzahl sowie höherer Gehäusetemperatur das höchste Sedimentvolumen ermittelt. (Tabelle 59)

Tabelle 59: Sedimentvolumen des extrudierten Sorghums

Probe Nr.	Einflussparameter			Sedimentvolumen ml/g		
	H ₂ O-Gehalt %	Drehzahl min ⁻¹	Gehäusetemperatur °C	AL70	Birmash	Seredo
1	16	200	60	15,5	15	9,75
2	24	200	60	14,0	14	13
3	16	300	60	18,5	18,5	10
4	24	300	60	14,25	14,25	9
5	16	200	160	17,5	17,5	18,75
6	24	200	160	17,0	17	14
7	16	300	160	16,5	16,5	13,75
8	24	300	160	16,0	16	-
9	20	250	110	15,0	15	15,25

8.4.4.2 Kaltwasserlöslichkeit

Infolge höherer Energieeinleitung kommt es zur Auflösung der molekularen Struktur, was mit einem Anstieg der Löslichkeit der Stärke in kaltem Wasser verbunden ist. Eine höhere Drehzahl und eine höhere Temperatur mit einem niedrigeren Wassergehalt steigern die Kaltwasserlöslichkeit.

Eine höhere Kaltwasserlöslichkeit konnte bei Probe 7 bei allen drei Sorten festgestellt werden. Eine höhere Drehzahl verursacht eine höhere Scherkraft. Diese höhere Scherkraft in Verbindung mit einer höheren Produkttemperatur steigert den Aufschluss der Stärkekörner.

Tabelle 60: Kaltwasserlöslichkeit des extrudierten Sorghums

Probe Nr.	Einflussparameter			Kaltwasserlöslichkeit %TS		
	H ₂ O-Gehalt %	Drehzahl min ⁻¹	Gehäusetemperatur °C	AL70	Birmash	Seredo
1	16	200	60	28,98	40	23,26
2	24	200	60	9,2	12,79	11,25
3	16	300	60	34,63	32,2	20,21
4	24	300	60	14,89	12,42	9,12
5	16	200	160	48,33	48,1	31,42
6	24	200	160	22,3	35,97	32,37
7	16	300	160	53,31	61,62	49,96
8	24	300	160	24,03	44,44	-
9	20	250	110	25,37	40,13	21,08

8.4.5 Diskussion der Extrusionsveruche

Die Sorghumkörner ließen sich mit dem Extruder gut verarbeiten. Während der Ganzkornextrusion wurde das arteigene Aroma stark ausgebildet. Die Farbe der Extrudate war ebenfalls arteigen. Die Sorte Birmash erreichte mit vergleichbar niedrigerer SME und niedriger Produkttemperatur bessere Extrudateigenschaften und gute Verarbeitungsmerkmale.

Auf Grund ihres geringen Stärkegehaltes und schlechten Reifezustandes bereitete die Sorte Seredo bei einer höheren Drehzahl während der Extrusion Schwierigkeiten. Bei einer Drehzahl von 300 U/min, einer Gehäusetemperatur von 160°C und einem Wassergehalt von 24 % hatte das Extrudat keine Konturen. Es konnte keine aussagefähige Probe gewonnen werden. Außerdem war eine extrusionsbedingte Tanninabnahme nicht festzustellen.

Bei den Untersuchungen konnte ein deutlicher Einfluss der ausgewählten Parameter auf die Zielgrößen nachgewiesen werden. Die Sorte Seredo weist von allen Sorten höhere SME- Werte und Produkttemperaturen auf. Dies kann auf den niedrigeren Stärkegehalt und auf die entstandene höhere Schubspannung zurückgeführt werden. Dagegen liegen die Werte der Zielgrößen logischerweise niedriger als im Vergleich zu den beiden anderen Sorten AL70 und Birmash.

Bei allen Sorten führte ein höherer Feuchtegehalt zu niedrigerer Produkttemperatur und geringeren SME-Werten und dadurch zu schlechteren

Extrudat Ergebnissen. Der Parameter Schneckendrehzahl steigerte die SME und die Produkttemperatur leicht. Dagegen ließ die Gehäusetemperatur die Produkttemperatur linear ansteigen und setzte wegen Änderung der Strukturviskosität der plastifizierten Masse im Schneckenraum des Extruders die SME herab.

Höhere Produkttemperaturen können durch eine geringe H₂O- Zugabe (16%) und eine höhere Gehäusetemperatur (160°C) sowie höherer Schneckendrehzahl (300u/min) erzielt werden.

Es wurde festgestellt, dass die SME und die Produkttemperatur eine direkte Beziehung zu den Antwortgrößen haben. Ferner wurde beobachtet, eine niedrige SME und eine höhere Produkttemperatur Sedimentvolumen, KWL, und die Volumen- Werte erhöhen. Jedoch werden mit einer höheren SME und mit einer niedrigeren Produkttemperatur bessere Werte erreicht.

Insgesamt weist die Sorte Birmash bessere Extrudateigenschaften auf. Die gemessenen Werte der Sorte AL70 sind zufriedenstellend. Die Extrusionsergebnisse können auch durch vorherige Behandlung der Körner mittels Schälmaschine, aber auch durch Prallmühle und Walzenstuhl verbessert werden, infolge der höheren Stärkegehaltes der Schäl- bzw. Mahlprodukte. Die gemessenen Werte der Sorte Seredo sind im Vergleich zu den beiden anderen Sorten nicht zufriedenstellend. Das Vollkornextrudieren der Sorte Seredo ist daher nicht zu empfehlen.

9. Gesamtdiskussion und Schlussfolgerung für die Verarbeitung der untersuchten Sorghumsorten

Für die industrielle Verarbeitung des Sorghumkornes sprechen einige Gründe und Notwendigkeiten. Die Steigerung der Preise für Weizen ließ die Nachfrage in den afrikanischen- und asiatischen Ländern nach einheimischen Rohstoffen wie Mais und Sorghum steigen. Die Märkte für diese Getreidearten gewinnen in den Ländern Nigeria, Sudan und Äthiopien enorm an Bedeutung. Der Einsatz des Sorghumkornes in der Gärungsindustrie steigerte die Nachfrage ebenfalls erheblich. Die industrielle Verarbeitung des Sorghumkornes zu Nahrungsmitteln ist zur Zeit unter speziellen Konditionen möglich. Das Ziel der Forschungen konzentriert sich auf die Herstellung qualitativ guter Mahlprodukte mit verbesserten inhaltsstofflichen und physikalischen Eigenschaften, die den Anforderungen der Zubereitung im Haushalt sowie denen der Back- und

Teigwarenindustrie entsprechen, z. B. als Zusatzmehl für die Herstellung von Biskuits, Brot und Teigwaren.

Für die Herstellung der Sorghummehle werden herkömmliche Schälmaschinen und Mahlanlagen eingesetzt. Der Wirkungsgrad der Schälmaschinen und Mühlen ist abhängig von dem Maschinencharakter, den Prozessparametern und den Korneigenschaften. Die Abhängigkeit von den Rohstoffeigenschaften wurde in der Literatur beschrieben, z. B. Kirleis and Crosby, Murty et al. Sie zeigten, dass Sorghumsorten mit hartem Endosperm höhere Ausbeute ergaben als jene mit weichem Endosperm. Die eigenen Ergebnisse bestätigen diese Aussage.

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der Prozessführung bei der Verarbeitung verschiedenen Sorghumsorten auf Ausbeute und Qualität der durch Schälen, Vermahlen und Extrudieren hergestellten Produkte untersucht. Ziel war die Herstellung ernährungsphysiologisch wertvoller Erzeugnisse aus einheimischen Sorghum durch Schälen und Vermahlen. Bisher sind in der Literatur keine Untersuchungen zur Optimierung der Prozessführung für die Verarbeitung von Sorghum beschrieben. Nach der Bearbeitung der untersuchten Sorten mittels Schälmaschine, Prallmühle und Walzenstuhl und nach der Auswertung der technologischen und stofflichen Parameter zeigen die ermittelten qualitativen und quantitativen Antwortgrößen bei allen Sorten spezifische Unterschiede. Nach den Untersuchungen und Auswertungen der Ergebnisse wurden mit Hilfe der Wertzahlen für Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehalt, in denen der Produkthanfall bzw. die Ausbeute auf den Inhaltsstoff bezogen wird, optimale Einflussparameter für das Schälen, für die Prall- und Walzenstuhlzerkleinerung der untersuchten Sorten vorgeschlagen.

9.1. Schälen

Durch das Schälen der Sorghumkörner kann ein tannin- und fettarmes Endprodukt hergestellt und die Anteile der Inhaltstoffe Stärke und Protein erheblich verbessert werden. Dadurch wird die Qualität der Endprodukte erhöht und der hygienische Zustand der Sorghumkörnern verbessert.

Abb. 64 zeigt wie die Kombination der unterschiedlichen Parameter und die Beschaffenheit des Kornes den Schälgrad beeinflussen. (Die Proben- Nr. beinhalten die unterschiedlichen Parameter, siehe Seite 34 und 44)

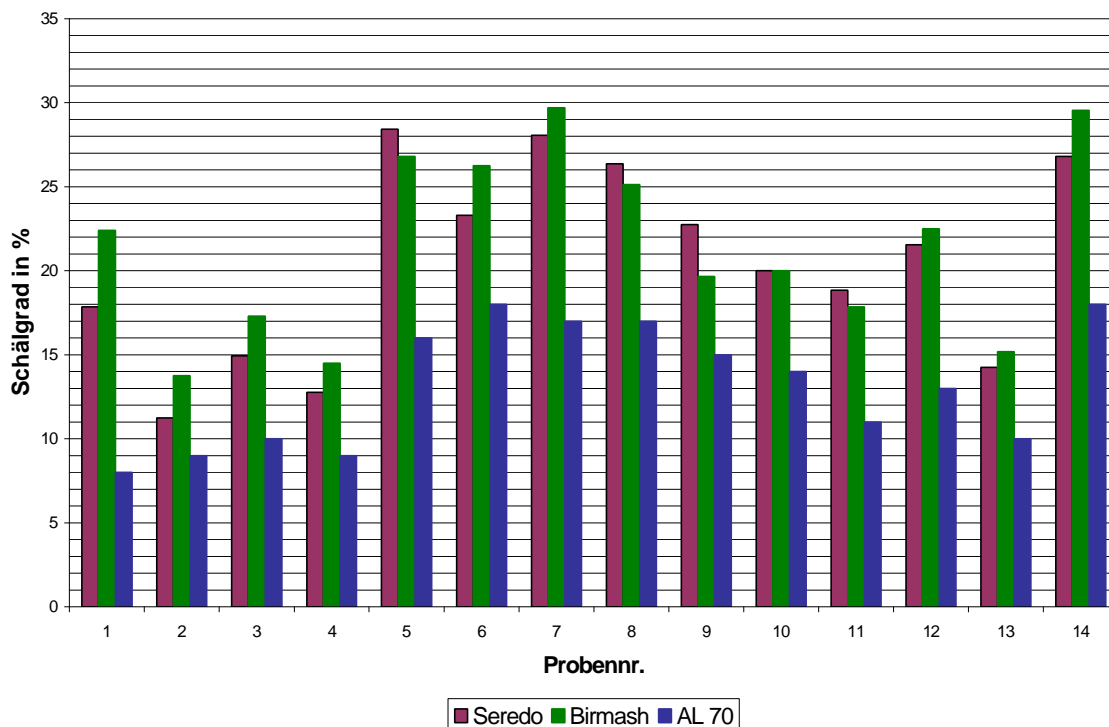


Abbildung 64: Schälgrad der untersuchten unterschiedlichen Sorghumsorten

Bei einem Feuchtegehalt von 12 %, einer Abstehtzeit von 1 h und 45 s Schälzeit lagen die Werte des Schälgrades bei der Sorte Seredo (17,86 %) und Birmash (22,40 %) mehr als doppelt so hoch als bei der Sorte AL70 (8.0 %). Darüber hinaus verdoppelte die Erhöhung der Schälzeit von 45 s auf 75 s bei allen drei Sorten den Schälgrad.

Die mit der Mehrfachoptimierung ermittelten Prozessparameter ergeben neben einer Reduzierung von Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehalt eine Ausbeute an geschälten Körnern von etwa 80- 85 % für die drei untersuchten Sorten. Durch Variation der Ausbeute am Optimum zum Zwecke der Ausbeutesteigerung, erhält man neue Einflussgrößen, als vorgeschlagene Werte bezeichnet, die neben höherer Ausbeute zu vertretbar geringfügig erhöhten Inhaltsstoffwerten führen. Die berechneten Qualitäts- Wertzahlen bestätigen das.(siehe Tabelle.61, 62 und 63)

Tabelle 61: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Schälmaschine

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A	12	3,5	59	85,7	2,98	1,06	84,99	12,75
B					28,75	80,85		
C	12	3,5	60	85,4	2,97	1,05	85,08	12,75
B					28,75	81,33		

Tabelle 62: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Schälmaschine

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A	13	4	59	79,7	2,65	1,34	81,99	10,51
B					30,07	59,47		
C	15	3,5	45	83,7	3,07	1,41	81,67	10,55
B					31,58	59,36		

Tabelle 63: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Schälmaschine

	Einflussgrößen			Zielgrößen					
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Tannin*	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A	16	3,5	59	81,22	0,85	2,75	1,62	79,62	11,68
B					95,55	29,53	50,13		
C	14	3	45	85,21	0,84	2,91	1,73	77,70	11,50
B					99,08	29,79	50,72		

* = in % l Tr.

X₁ = Feuchtegehalt in %, X₂ = Abstehtzeit in h, X₃ = Schälzeit in s´

A = Ergebnisse der Mehrfachoptimierung

B = Qualitätswertzahlen der Prozessführung A und B

C = Vorgeschlagene Werte aus Variation der Ausbeute

Die eigenen Untersuchungen belegen, dass neben in der Literatur beschriebenen Rohstoffeigenschaften, die Prozessparameter Feuchte, Absteht-, und Schälzeit auf Ausbeute und Qualität des Schälprodukte Einfluss haben. Eine nicht optimierte Prozessführung führt entweder zu niedriger Ausbeute oder zu höherem Fettgehalt.

9. 2. Prallvermahlung

Bei den Mehlen der Prallzerkleinerung wurde eine lineare Steigerung der Ausbeute und ein hoher Feingutanteil mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit festgestellt. Das Mahlgut unterliegt in der Stiftmühle einer mehrfachen Beanspruchung, deren Intensität mit steigender Umfangsgeschwindigkeit zunimmt. Es wird eine zunehmend höhere mechanische Energie auf das Gut übertragen. Die mit der Prallmühle hergestellten Mehle zeigen bei allen Sorten mit höherer Ausbeute einen relativ hohen Stärkegehalt, eine deutliche Minderung des Tanningehaltes bei der Sorte Seredo sowie des Mineralstoffgehaltes und des Fettgehaltes bei allen Sorten. Auf Grund des weichen Endosperms ließ sich die Sorte Birmash mittels Prallmühle besser zerkleinern als die Sorten AL70 und Seredo. Wie die Abb. 65 und 66 zeigen, ist eine Sortenabhängigkeit der Vermahlungsergebnisse festzustellen. Es wurden nach der Auswertung der Ergebnisse für alle drei Sorten optimale Verarbeitungsparameter vorgeschlagen. Siehe Tabelle 64, 65 und 66

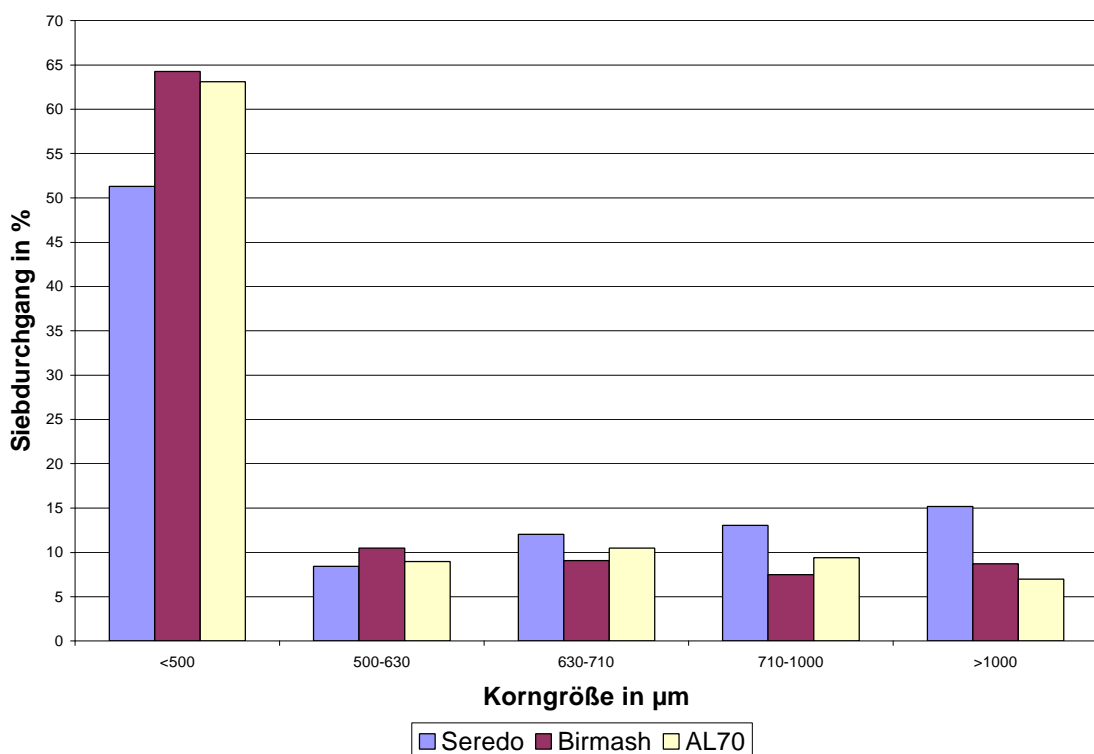


Abbildung 65: Siebdurchgang Prallvermahlung Probe 2
(X1 = 17, X2 = 20 und X3 70)

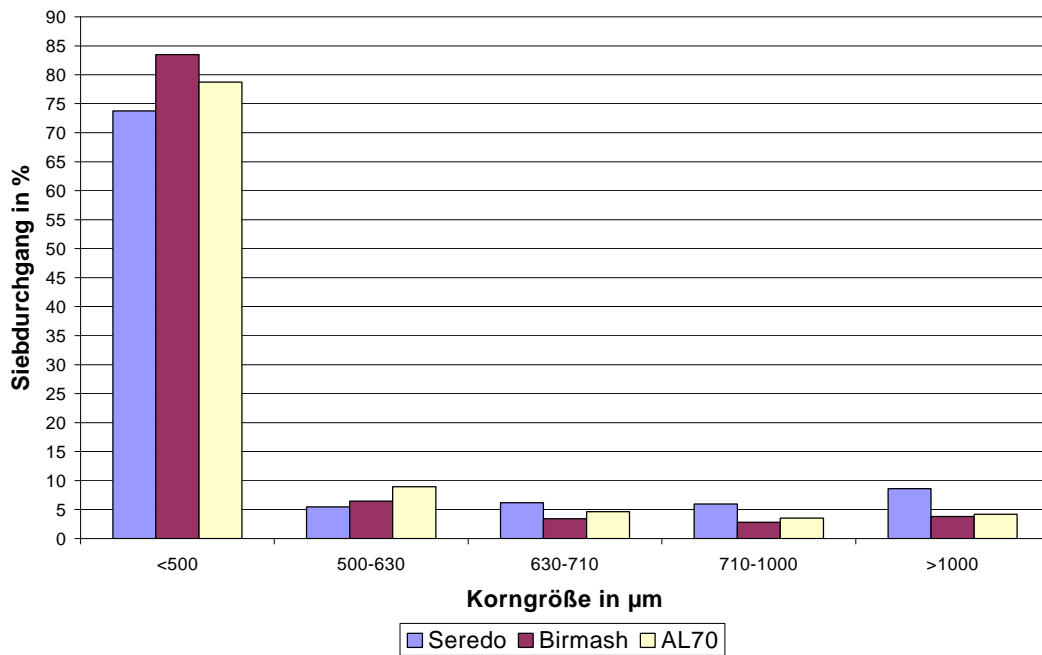


Abbildung 66: Siebdurchgang Prallvermahlung Probe 6

(X1 =17, X2 = 20 und X3 = 110)

Tabelle 64: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Prallmühle

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A*	15,2	22	93	83,85	3,55	1,33	79,92	11,68
B*					23,62	63,05		
C*	13	20	110	87,77	3,96	1,31	77,13	13,35
B*					22,16	67		

Tabelle 65: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Prallmühle

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A*	14,2	37	106	85,60	2,86	1,33	81,75	12,20
B*					29,93	64,36		
C*	13	60	110	89,29	2,86	1,31	79,62	11,41
B*					31,22	68,16		

Tabelle 66: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Prallmühle

	Einflussgrößen			Zielgrößen					
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Tannin*	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A*	16,8	40	97	76,03	0,90	2,91	1,99	69,14	16,08
B*					84,48	26,13	38,21		
C*	15	40	110	82,28	0,94	2,99	1,83	66,23	15,68
B*					87,53	27,52	44,96		

* = in % l Tr.

X₁ = Feuchtegehalt in %, X₂ = Abstezeit in h, X₃ = Umfangsgeschwindigkeit in m/s

A= Ergebnisse der Mehrfachoptimierung

B= Qualitätswertzahlen der Prozessführung A und B

C= Vorgeschlagene Werte aus Variation der Ausbeute

Die Vermahlung des ungeschälten Sorghum mit Prallmühlen wird in der Literatur nicht beschrieben. Nur die Vermahlung der geschälten Sorghumkörner ist bekannt. /3, 5, 26, 35, 48, 66, 99, 110/ Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass bei der Vermahlung ungeschälter Sorghumkörner mittels Stiftmühle eine Absenkung des Tanningehaltes auf unter 1% erreicht werden kann. In Verbindung mit einen vorhergehenden Schälern ist eine weitere Tanninreduzierung zu erwarten. Bei den tanninarmen Sorten AL70 und Birmash wird mit der Stiftmühle eine 2-3 % höhere Ausbeute gegenüber dem Walzenstuhl erreicht. Auch die Inhaltsstoffwerte Protein, Fett und Mineralstoff erreichen höhere Werte, dagegen liegen die Stärkegehalte der mit Walzenstuhl ermahlenen Produkte höher. Dieser Vergleich bestätigt die schlechtere selektive Trennung der Schale und des Keimes vom Mehlkörper beim Vermahlen mit der Stiftmühle. Bei der Verarbeitung tanninarmer Sorten ist die Stiftmühle weniger für das Schroten als für das Grießmahlen geeignet.

9.3. Walzenstuhlvermahlung

Die Vermahlung der beiden Sorten AL70 und Birmash mittels Walzenstuhl ergab ein mineralstoff- und fettarmes Produkt mit relativ hohen Ausbeuten. Mit der Sorte Seredo wurde dagegen eine niedrigere Ausbeute erzielt. Abb. 66 und 67 zeigen die unterschiedlichen Verarbeitungseigenschaften der drei Sorten und die

Auswirkung der eingesetzten Verarbeitungsparameter während der Walzenstuhlvermahlung.

Auf Grund schonender Behandlung des Kornes mit diesem Mahlprinzip sind relativ schalenarme Produkte angefallen. Die Werte des Siebdurchganges <500 µm zeigten einen extrem niedrigen Tanningehalt bei der Sorte Seredo und niedrige Fett- und Mineralstoffgehalte bei den beiden anderen Sorten. Auf Grund des unterschiedlichen Kornaufbaues der untersuchten Sorten, waren auch die Ergebnisse verschieden. Es ist zum Beispiel mehr Grieß bei der Sorte AL70 angefallen als es bei den anderen Sorten. Die Einstellung des Mahlspaltes war der entscheidende Einflussparameter bei der Walzenstuhlvermahlung. Es wurden unterschiedliche Einflussgrößen für die drei Sorten errechnet und nach der Diskussion optimale Parameter auf der Basis der Qualitäts- Wertzahlen für alle drei Sorten vorgeschlagen. (siehe Tabellen 67, 68 und 69)

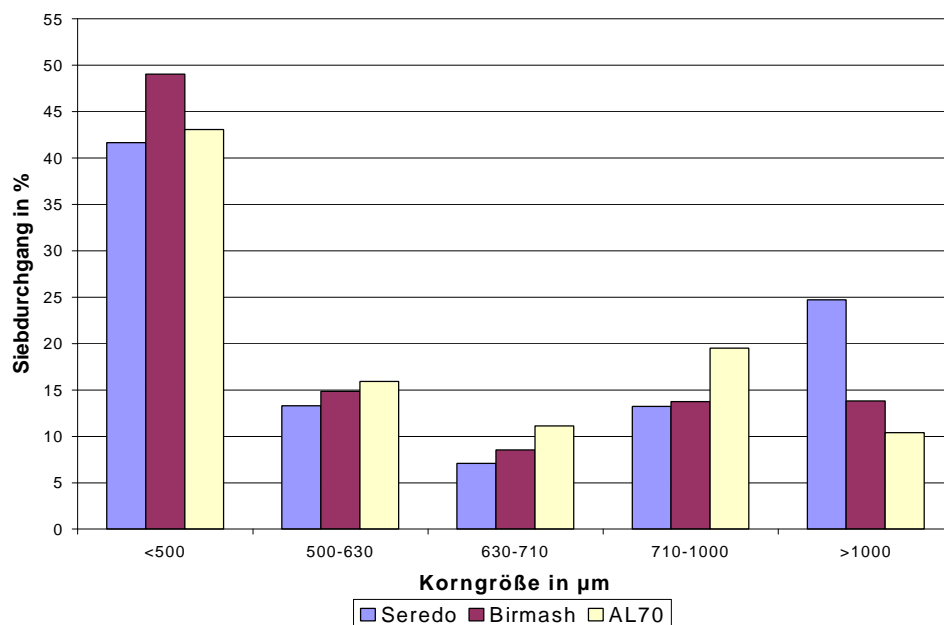


Abbildung 67: Siebdurchgang bei der Walzenstuhlvermahlung von Probe 1(X1=13, X2 = 20 X3 = 0,2)

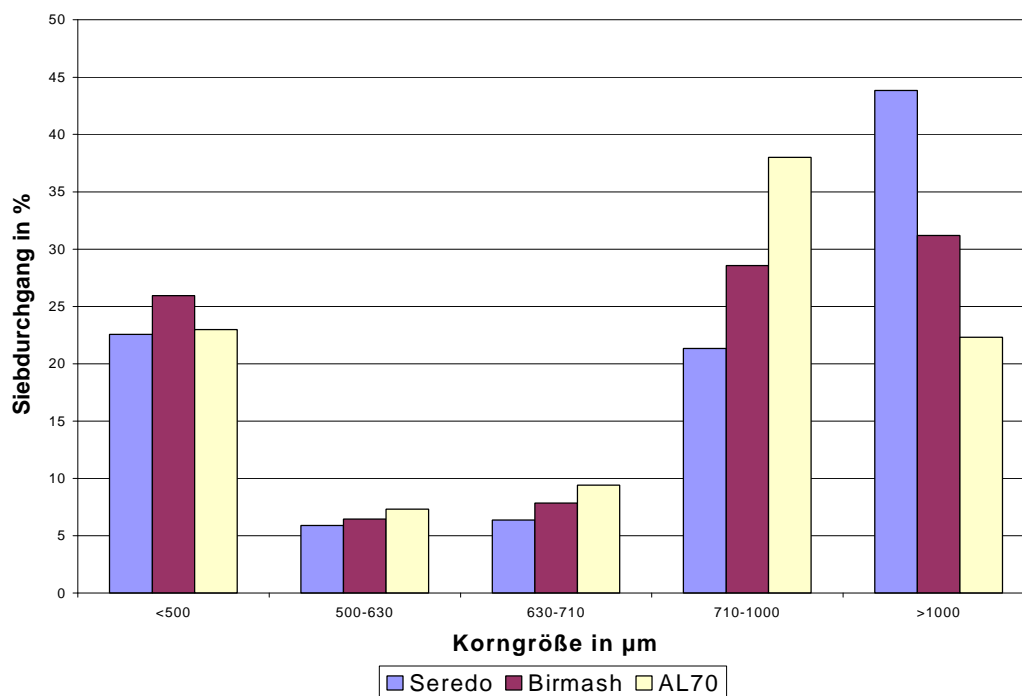


Abbildung 68 Siebdurchgang bei der Walzenstuhlvermahlung von Probe 5 (X1=13, X2 = 20 X3 = 0,4)

Tabelle 67: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Walzenstuhl

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A	17	40	0,3	85,41	2,59	0,86	86,1	11,28
B					32,98	99,31		
C	17	60	0,3	84,29	2,31	0,83	84,79	11,28
B					33,55	101,55		

Tabelle 68: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Walzenstuhl

	Einflussgrößen			Zielgrößen				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A*	14,9	41	0,3	77,82	2,09	0,91	81,66	9,34
B*					37,23	85,52		
C*	17	20	0,2	87,67	2,30	0,95	84,57	9,5
B*					38,12	92,28		

Tabelle 69: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Walzenstuhl

	Einflussgrößen			Zielgrößen					
	X ₁	X ₂	X ₃	Ausbeute in %	Tannin*	Fett*	Mineralstoff*	Stärke*	Protein*
A*	15,2	21	0,3	63,02	1,27	2,11	1,40	87,25	15,63
B*					49,62	29,87	45,01		
C*	17	20	0,2	68,78	1,32	2,48	1,45	84,43	15,87
B*					52,11	27,73	47,43		

* = in % l Tr.

X₁ = Feuchtegehalt in %, X₂ = Abstehtzeit in h, X₃ = Mahlsplatt in mm

A= Ergebnisse der Mehrfachoptimierung

B= Qualitätswertzahlen der Prozessführung A und B

C= Vorgeschlagene Werte aus Variation der Ausbeute

Auch bei den auf dem Walzenstuhl hergestellten Mahlprodukten bringt eine Variation der Ausbeute am Optimum höhere Ausbeutewerte bei vertretbar gering veränderten Inhaltsstoffwerten. Die trotzdem höheren Qualitäts- Wertzahlen für die Inhaltsstoffe gegenüber den Ergebnissen der Mehrfachoptimierung belegen, dass die „ vorgeschlagenen“ Einflussparametern für die Vermahlung zu empfehlen sind (Tabelle 67, 68 und 69)

Die Verarbeitung aller drei Sorten mittels Schälaggregat, Walzenstuhl und Prallzerkleinerung brachte die gewünschte Minderung des Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehaltes, wobei sich Stärke- und Proteingehalt erhöhten. Zur weiteren Absenkung der Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehalte in den Endprodukten, sollte vor der Walzenstuhl- oder Prallzerkleinerung das Korn geschält werden, weil die Kornschaale mineralstoff-, fett- und tanninreich ist. In der Abbildung 69 und 70 wird jeweils ein Prozessschema für die industrielle trockenmüllerische Verarbeitung dieser drei Sorten vorgeschlagen.

Der Walzenstuhl erhält gegenüber der Prallvermahlung eine geringere Ausbeute, aber Produkte mit einem höheren Stärkegehalt sowie geringeren Fett- und Mineralstoffgehalten. Auch hier sind noch höhere Ausbeuten mit weiter reduziertem Fettgehalt durch die Kombination des Schälprozesses mit der Walzenvermahlung zu erreichen.

Ein Vergleich der eigenen Vermahlungsergebnisse mit den von Perten, durchgeführten Untersuchungen zur Trockenmahlung sind nicht möglich weil er keine Aussagen zu den verwendeten Sorten macht und die Mahlprodukte Feingut $<710\text{ }\mu\text{m}$ mit Mehl $<125\text{ }\mu\text{m}$ nicht vergleichbar sind. /108/

Auch mit der Verfahren der Halbnassvermahlung sind keine besseren Ergebnisse in der Verringerung des Tanningehalts erzielt wurden als mit der Trockenvermahlung. Dem zufolge ist die Trockenvermahlung aus hygienischen und ökonomischen Gründen die zu favorisierende Verfahrensvariante zur Sorghumvermahlung.

Ein Vergleich der eigenen Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Autoren /26, 35, 90, 95, 108, 110, 118, 149/ zeigt, dass mit einer Optimierung der Prozessführung günstigere Prozessparameter für die Verringerung des Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehalt bei gleichzeitiger Erhöhung des Stärke- und Proteingehaltes ermittelt werden. Dadurch können ernährungsphysiologisch wertvoller Produkte hergestellt werden. Der Mehrzahl der in der Literatur beschriebenen Arbeiten konzentriert sich auf die Eignung verschiedener Maschinen ohne Darstellung der Wirkungsweise der Prozessgrößen. Die in der Arbeit angewendete Methode der Prozessoptimierung kann zur Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften weiterer Sorghumsorten und zur Erarbeitung optimaler Vermahlungstechnologie genutzt werden.

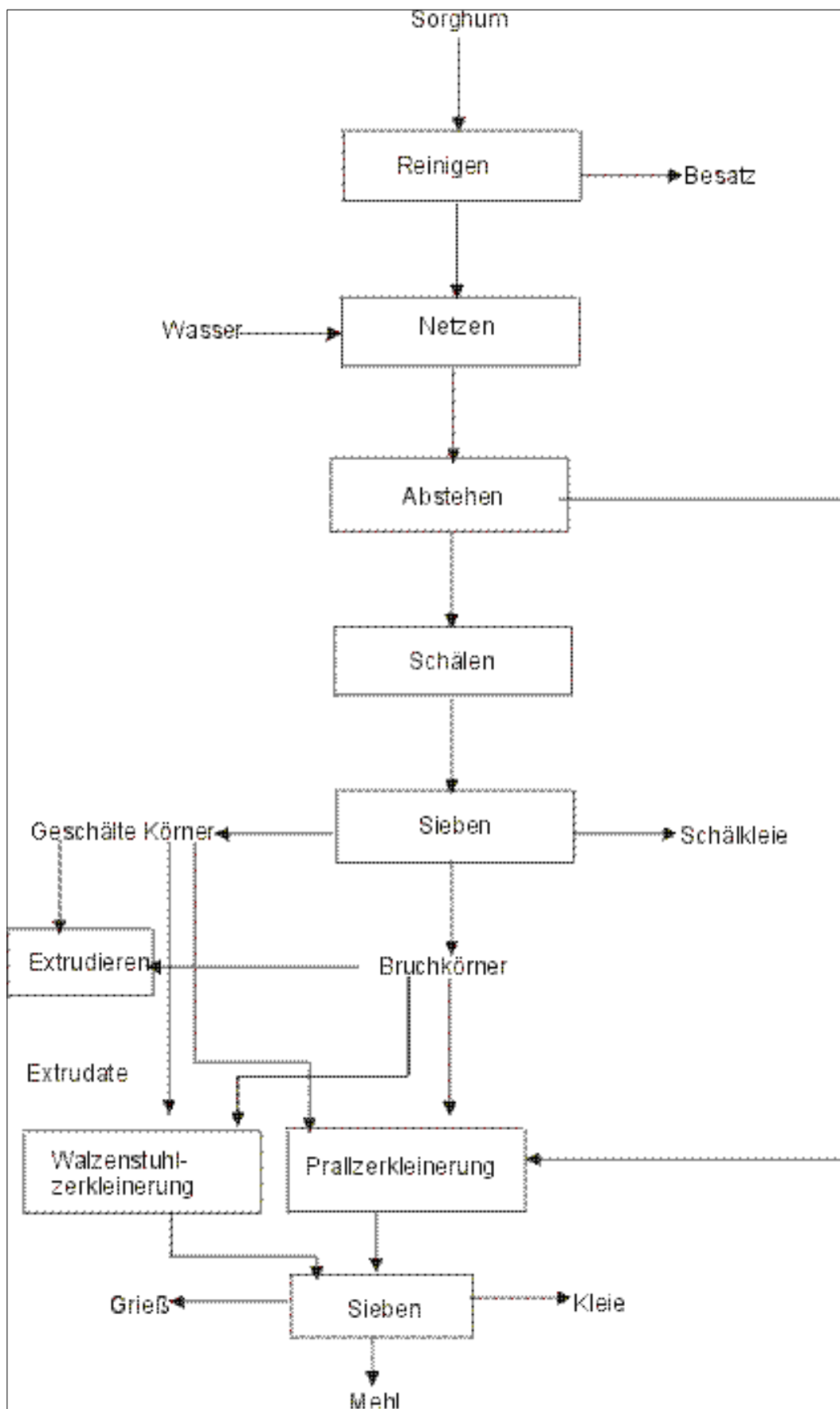


Abbildung 69. Vorschlag zur Prozessschema zur Industriellen Verarbeitung der Sorte Seredo

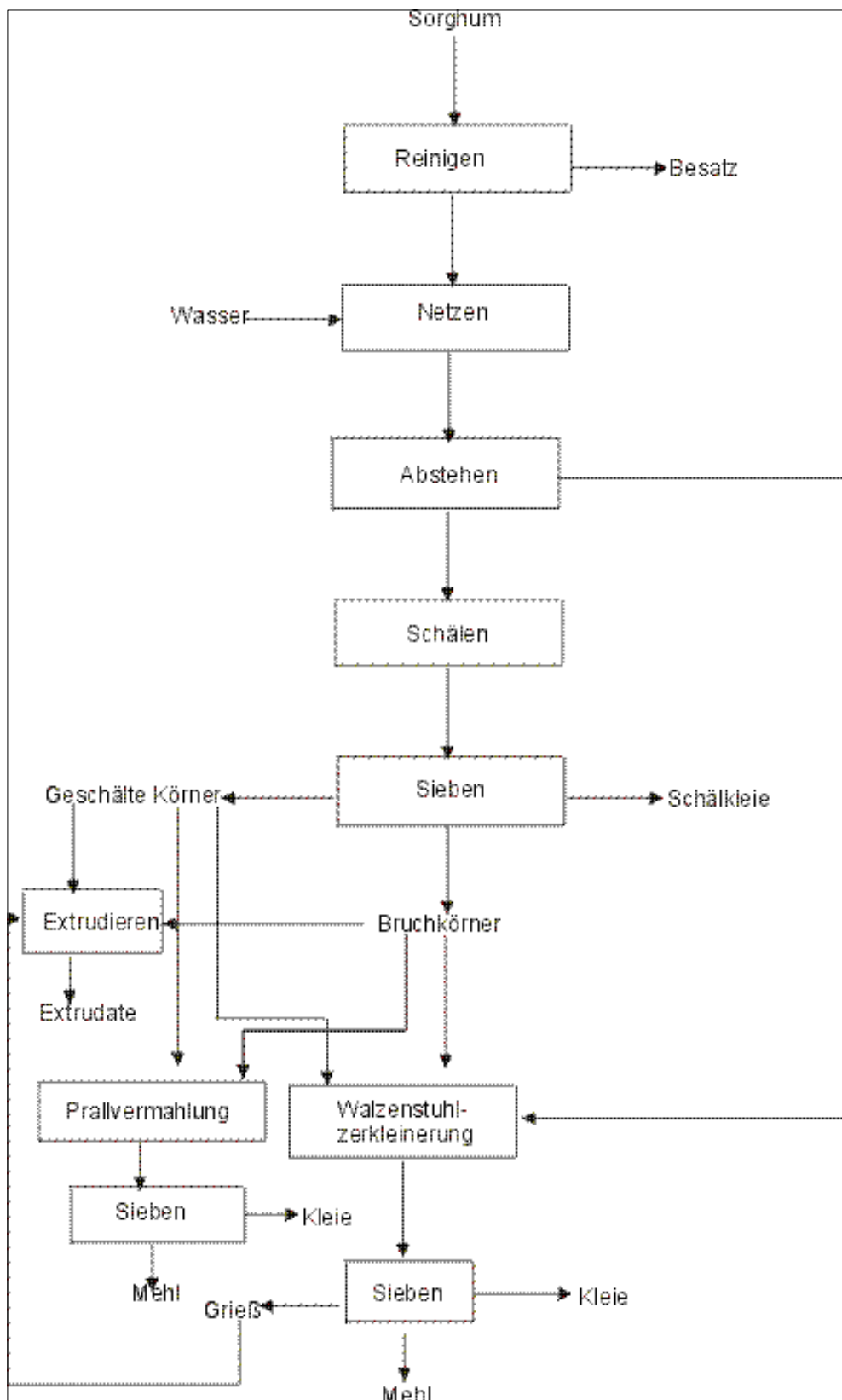


Abbildung 70. Vorschlag zur Prozessschema zur Industriellen Verarbeitung der Sorte AL70 und Birmash

9.4. Extrusion

Das Extrudieren der Sorghumkörner zeigte die Möglichkeit, aus diesem Getreide akzeptable Vollkornprodukte herzustellen. Bedeutsam ist, dass auf Grund der Sortenunterschiede bei gleicher Prozessführung unterschiedliche Extrusionsergebnisse erzielt wurden. Die unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung und der unterschiedliche Stärkegehalt der Sorghumkörner sind dafür entscheidend. Weiterhin wurde festgestellt, dass mit einem niedrigen Wassergehalt und steigender Drehzahl die spezifische mechanische Energieeinleitung in das Gut ansteigen. Die Produkttemperatur erhöhte sich mit Steigerung der Gehäusetemperatur und der Drehzahl. Sowohl eine höhere Produkttemperatur mit niedrigerer spezifischer mechanischer Energieeinleitung, als auch eine höhere spezifische mechanische Energieeinleitung mit niedrigerer Produkttemperatur verbesserten die Qualität der Extrudate. Die Extrudate der Sorte Birmash besaßen bessere Eigenschaften. Die maximale Durchmesserergrößerung beträgt 367 %. Dies wurde mit einer niedrigen spezifischen mechanischen Energieeinleitung von 77 (Wh/kg) und einer relativ hohen Produkttemperatur von 175 °C erreicht. Die damit erzielten Werte des Volumens, des Sedimentvolumens und der Kaltwasserlöslichkeit ergaben die höchsten Werte. Deshalb wird empfohlen diese Sorte mit einem Wassergehalt von 16 %, einer Drehzahl von 200 min⁻¹ und einer Gehäusetemperatur von 160 °C zu extrudieren.

Bei der Sorte Seredo betrug die maximale Durchmesserergrößerung nur 288 %. Es wurden auch gute Volumen- (11,54), Sedimentvolumen- (18,75) und Kaltwasserlöslichkeitswerte (49,96) mit einer höherern Produkttemperatur sowie höheren spezifischen mechanischen Energieeinleitung gemessen. Das Extrudieren dieser Sorte soll mit einem Wassergehalt von 16 %, einer Gehäusetemperatur von 160 °C und einer Drehzahl von 200 min⁻¹ erfolgen. Eine Steigerung der Drehzahl um 300 min⁻¹ verbessert die Kaltwasserlöslichkeit.

Die maximale Durchmesserergrößerung der Sorte AL70 beträgt 335 %. Die Werte des Volumens(19,91), Sedimentvolumens (18) und der Kaltwasserlöslichkeit (48,33) wurden mit einer niedrigen spezifischen mechanischen Energieeinleitung von 78 (Wh/kg) und einer Gehäusetemperatur von 160 °C erzielt. Für das Extrudieren dieser Sorte sollte ein Wassergehalt von 16 %, eine Drehzahl von 200 min⁻¹ und eine Gehäusetemperatur von 160 °C verwendet werden. Eine Verringerung des Tanningehaltes ist durch Extrudieren nicht zu erreichen.

10. Zusammenfassung

Sorghum ist für Millionen Menschen in Afrika, Asien und Lateinamerika Nahrungsmittel und Energielieferant. Sorghum wird in der Welt für die traditionelle und industrielle Lebensmittelherstellung sowie als Futtermittel verwendet.

Ein Schwerpunkt der Agrarforschung in Äthiopien ist die Ertragssteigerung durch den Einsatz verbesserten Saatguts und durch moderne Agrartechnik. Zur Zeit sind 22 Sorghumsorten in Äthiopien zugelassen und davon werden sieben Sorten wegen ihrer hohen Ertragsleistungen für den Anbau besonders empfohlen. Diese sieben Sorten wurden im Rahmen der Arbeit auf ihre Korneigenschaften untersucht. Hieraus sind die Sorten Seredo, Birmash und AL70 zur Untersuchung der Verarbeitungseigenschaften ausgewählt worden. Diese drei Sorten repräsentieren alle drei Anbauzonen Äthiopiens.

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss der Prozessführung auf das Schälen, auf das Vermahlen mit Walzenstuhl und Prallmühle sowie auf die Extrusion der drei Sorghumsorten. Zielstellung war vor allem das Erreichen niedriger Tannin- und Fettgehalte bei gleichzeitig hoher Ausbeute sowie hohen Stärke- und Proteingehalten der Produkte. Für die Sorten Seredo, Birmash und AL70 wurden optimale Verarbeitungsparameter für alle Sorten erarbeitet und sortenabhängige Prozessschemata entwickelt.

Die Versuche wurden nach der Statistischen Versuchsplanung (BN-Plan) durchgeführt. Nach Auswahl der signifikanten Einflussgrößen erfolgte die Berechnung nach mathematischen Modellen. Danach wurde eine Mehrfachoptimierung durchgeführt und Prozessparameter ermittelt, um qualitativ gute Produkte bei maximaler Ausbeute herzustellen.

Durch das Schälen konnte der Tannin- und Fettgehalt der Sorghumkörner vermindert und dadurch die Qualität der Körner verbessert werden. Die Schälzeit war der entscheidende Einflussparameter. Mit einer längeren Schälzeit erhöhten sich die Schälgradwerte. Diese Steigerung konnte durch Erhöhung des Feuchtegehalts des Kornes beeinflusst werden.

Durch das Schälen konnten bei der Sorte Seredo bis zu 61 % vom Tanningehalt und 18 % vom gesamten Fettgehalt, bei der Sorte Birmash fast 42 % des gesamten Fettgehaltes und bei der Sorte AL70 bis zu 46 % des gesamten Fettgehaltes und 30 % des Mineralstoffgehaltes entfernt werden. Damit erhöhten sich die Rohprotein- und Stärkegehalte um 7 % bzw. 12 %.

Für das Schälen sind sortenabhängig unterschiedliche Feuchtegehalte, Abstehtzeiten und Schälzeit anzuwenden.

Sorte	Feuchte in %	Abstehtzeit in h	Schälzeit in s´
Seredo	14	3	45
Birmash	15	3,5	45
AL70	12	3,5	60

Die Prallzerkleinerung zeichnet sich im Vergleich zur Walzenstuhlzerkleinerung aufgrund einer höheren Zerkleinerungsintensität durch einen höheren Feinanteil im Mahlprodukt aus. Die Umfangsgeschwindigkeit ist hier der entscheidende Parameter. Durch die Steigerung der Umfangsgeschwindigkeiten erhöhte sich die Zerkleinerungsintensität und damit auch der Feingutanteil in den Zerkleinerungsprodukten. Mit Erhöhung des Feuchtegehaltes und Verkürzung der Abstehtzeit wurde die Qualität des Mehles durch die Minderung der anfallenden Randschichten im Mahlgut verbessert. Trotz der in das Mahlgut übertragenen hohen Zerkleinerungsenergie konnten z. B. bei der Sorte Seredo bis zur 73 % des Tanningehaltes und 17 % des Fettgehaltes entfernt werden. Bei den Sorten AL 70 und Birmash wurden mehr als 30 % bzw. 35 % des gesamten Fettgehaltes entfernt. Um ein tannin-, fett- und mineralstoffarmes Endprodukt mit hoher Ausbeute zu erhalten, sollte bei allen drei Sorten eine Umfangsgeschwindigkeit von 110 m/s verwendet werden, aber mit unterschiedlichen Feuchtegehalten und Abstehtzeiten. Für die Sorte Seredo sind 15 % Feuchte und 40 Minuten Abstehtzeit, für die Sorte Birmash 13 % Feuchte und 60 Minuten Abstehtzeit und für die Sorte AL70 13 % Feuchte und 20 Minuten Abstehtzeit zu empfehlen.

Die Vermahlung mittels Walzenstuhl machte den unterschiedlichen Kornaufbau der untersuchten Sorten deutlich. Der Mahlpalt war der entscheidende Einflussparameter. Mit kleiner werdendem Mahlpalt konnte eine Zunahme der Ausbeute bei der Korngrößenklasse < 710 µm festgestellt werden.

Die Sorte Birmash mit ihrer weichen Strukturen ergab mehr Feingutanteil (< 500µm) gegenüber den anderen beiden Sorten. Bei der Sorte AL 70 wurde eine schonende Trennung von Schalen und Endosperm erreicht und dadurch fiel eine höhere Grießmenge im Mahlprodukt an.

Wegen der unzureichenden Kornausbildung der Sorte Seredo ist ein höherer Schrotanteil ($>1000\text{ }\mu\text{m}$) bei der Vermahlung mittels Walzenstuhl angefallen. Demzufolge war die Ausbeute der Korngrößenklasse $< 710\text{ }\mu\text{m}$ im Vergleich zu den anderen Sorten niedrig.

Neben dem Mahlpalt hatte auch der Feuchtegehalt einen deutlichen Einfluss. Seine Erhöhung von 13 % auf 17 % verringerte die Tannin-, Fett- und Mineralstoffgehalte.

Für die Vermahlung der untersuchten Sorten mittels Walzenstuhl ist für die Sorten Seredo und Birmash ein Feuchtegehalt von 17 %, eine Abstehtzeit von 20 min und ein Mahlpalt von 0,2 mm und für den Sorte AL70 ein Feuchtegehalt von 17 %, eine Abstehtzeit von 60 min und ein Mahlpalt von 0,3 mm zu empfehlen.

Mit diesen Parametern können bei der Sorte Seredo der Tanningehalt um 63 %, bei Birmash und AL70 der Fettgehalt um 62 % bzw. 58 % reduziert werden. Für die industrielle trocken müllerische Verarbeitung sind sortenabhängige Prozessfließbilder entwickelt worden. Diese sind unter Berücksichtigung der Korneigenschaften auch im wesentlichen auf anderen Sorghumsorten übertragbar.

Die Sorghumkörner ließen sich mit dem Extruder gut verarbeiten. Mit einem niedrigen Feuchtegehalt und einer höheren Gehäusetemperatur konnten die Werte der Produkttemperaturen gesteigert werden. Dies ist auch mit einem niedrigeren Wassergehalt und einer höheren Drehzahl erreicht worden. Die spezifische mechanische Energieeinleitung stieg mit steigender Drehzahl linear an. Die Steigerung der Produkttemperatur wirkte sich positiv auf die Extrudateigenschaften aus.

Die Extrudate der Sorte Birmash besitzen bessere Eigenschaften. Die maximale Durchmesserzunahme dieser Sorte beträgt 367 %. Bei den Sorten AL70 und Seredo liegt die maximale Durchmesserzunahme nur bei 335 % sowie bei 288 %.

Beim Extrudieren der Sorten Birmash und AL 70 können ein Wassergehalt von 16 % und eine Gehäusetemperatur von $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit niedriger Drehzahl oder ein Wassergehalt von 16 % und höherer Drehzahl von 300 min^{-1} sowie einer niedrigen Gehäusetemperatur verwendet werden. Die Sorte Seredo sollte mit einem Wassergehalt von 16 %, einer Gehäusetemperatur von $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer niedrigen Drehzahl extrudiert werden.

11. Literaturverzeichnis

1. Abdelmoneim O. El Khalifa & Abdullahi H. El Tinay

Effect of fermentation on Protein fractions and tannin content of low- and High-tannin cultivar of Sorghum
Food Chemistry 49 (1994) 265-269

2. Abdelrahman, A.A.

Basis for Hardness in Pearl Millet, Grain Sorghum and Corn
Cereal Chemistry 61:232 (1984)

3. Abdelrahman, A., Hoseney, R. C.

Milling process to produce low-fat grits from pearl millet
Cereal Chem., 60 (3), 189- 191

4. Abebe, M., Yilma, K. and Berhane, G.

Genotype- environment interaction and yield stability in Sorghums of intermediate maturity
Ethiopian Journal of Agricultural science vol. 6- No. 1, Jan. 1984

5. Adeyemi, I.A.

Dry-Milling of Sorghum for Ogi Manufacture
Journal of Food Science 1 (1983) 221-227

6. Ahmed, A. H. and Ramanatham, G.

Essential amino acid composition and in vitro digestibility of protein of Sorghum bread "Kisra" enriched with edible defatted groundnut flour
Nutrition Reports International 1987, Vol. 35 ISS 3, 487- 495

7. Akingabala, J. O. Rooney, L. W. and Faubion, J. M.

Physical, chemical and sensory evaluation of Ogi from Sorghum of differing kernel characteristics
Journal of food science 46(5), 1532-1536

8. Al-Kahtani, H.A.

Processing of Different Wheat Flour-Supplemented Sorghum Flakes
Sensory Nutritional and Microbiological Evaluation
Food Chemistry 33/ 1989, S 133-149

9. Alkämper, J.

Die Getreideproduktion Äthopiens
Habilitationsschrift, Giessen 1973

10. Antila, J. / Seibel, W.

Einfluss eines Zusatzes von extrudiertem Weizenmehl auf die Qualität von Weizenbrot.
Getreide, Mehl und Brot 2/1984, 49

11. Arcot, J and Chittemma, K.

Sorghum Food Quality
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

12. Asiedu Matilda, / Nilsen, R. / Lie, O. and Lied, E

Effect of Processing (sprouting and/or fermentation) on Sorghum and Maize.
I: Proximate composition, minerals and fatty acids
Food Chemistry 46(1993), 351-353

13. Au, P.M. and Fields, M. L.

Nutritive Qualities of Fermented Sorghum
Journal of Food science 46 (1981), 652

14. Banda- Nyirenda D.B.G. / Vohra, P. and Ingebretson, K.H.

Nutritional Evaluation of Some Varieties of Sorghums.
Cereal Chemistry 64(1987) No. 6, 413-417

15. Barmel- Cox, P. J., Hancock, J. D., Kumar, K. A. and Andrews, D. J.

Sorghum and Millets for Forage and Feed
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC, St. Paul, MN, 1995, pp. 325-364.

16. Bello, A. B. Rooney, L. W. Waniska, R. D. 1990

Factors affecting quality of Sorghum to´ , a thick porridge
Cereal Chemistry 67 (1), 20-25

17. Berhane Gebrekidan

Sailent Features of the Sorghum Breeding strategies used in Ethiopia
Ethiopian Journal of Agricultural science vol. III- No. 2, July 1981

18. Berhane Gebrekidan

Sorghum genetic resources in Africa
Ethiopian Journal of Agricultural science vol. I - No. 2, July 1979

19. Bindzus, W.

Untersuchung der Extrusionsverhaltens von Stärkemischungen unter Verwendung der in- line bestimmten Schubspannung der plastifizierten Massen als den Prozess- und die Produkteigenschaften charakterisierender Verfahrensparameter
Dissertation D1996

20. Bookwalter, G.N. / Kirleis, and Mertz E.T.

In Vitro Digestibility of Protein in Milled Sorghum and Other Processed Cereals With and Without Soy-Fortification
Journal of Food Science Vol. 52, No. 6, 1987

21. Cagampang, G. B. Kirleis, A.W. and Marks, J. S.

Application of Small Sample Back Extrusion Test for Measuring Texture of Cooked Sorghum Grain
Journal of Food Science Vol. 52, No. 6, 1987

22. Cagampang, G. B. Kirleis, A.W.

Relationship of Sorghum grain hardness to selected physical and chemical measurments of grain quality
Ceral Chem., 61, 100-105

23. Chandrashekar A. and Kirleis A.W.

Influence of Protein on Starch Gelatinization in Sorghum
American Association of Cereal Chemists, Inc. Vol. 65, No. 6, 1988

24. Charles Lazarus R. und Karl Renz H.

The Influence of Cereal Flours on The Taste Perception of Extrusion-Stable Flavors
Cereal Foods World May 1985, Vol. 30, Nr.5

25. Chavan, U.D. / Chavan J.K. and Kadam S.S.

Effect of Fermetation on Soluble Proteins and in Vitro Protein Digestibility of Sorghum, Green Gram and Sorghum-Green Gram Blends
Journal of Food Scince 53 (1988)

26. David A.V. Dendy

Sorghum and The Millets: Production and Importance
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed.)
AACC, St. Paul, MN, 1995, pp. 11-26.

27. Dhingra, M./ Srivastava, S. and Chauhan, G.S.

Nutrient Composition and Relationship Between Physico-chemical and
Sensory Qualities of Sorghum Genotypes.
Journal of Food Science Technology 29 (1992), Nr. 2, 97-100

27. Ejeta, G. and Axtell, J.

Protein and lysine levels in developing kernels on normal and high lysine
Sorghum
Cereal Chemistry 1987, Vol. 64, ISS 3, 137- 139

28. Elmalik, M., Klopfenstein, C. F., Hosney, R. C. and Bates, L. S.

Effect of germination on the nutritional quality of sorghum grain with
contrasting kernel characteristics
Nutrition reports International 1986, Vol. 34, ISS 6, 941- 950

29. Elsner G. und Seiler K.

Die Bedeutung der Extrudertechnologie für den Backbetrieb
Brot und Backwaren 10/83 (23-25)

30. Emprere Ebiokubo, C.

Production of OGI, a Fermented Nigerian Staple, From Bird- Resistant
Sorghum (Sorghum bicolor Moench L.)
Dissertaion D 83 1984

31. Erhardt, V. Handreck, B. Mitschka, C. und Seppelt, B.

The application of multivariable mathematical-statistical methods to the
Solution Of Problems in nutrition's theory, nutritional economics and food
technology part 4. Optimization with $n > 2$ effect variables
Die Nahrung Volumen 29. 1985 Nr. 7

32. Evans, D. J. Schüssler, L. and Taylor, J. R. N.

Isolation of Reduced- Soluble Protein from Sorghum Starchy Endosperm
Journal of Cereal Science 5 (1987) 61-65

33. FAO Yearbook, 1996

34. Fliedel, G., Flacher, K. and Mestres, C.

Physico-chemical characteristics of Sorghum grains and to'quality
Intenational Cereal Chemist Congress, Prague, Czechoslovakia, June 10-13

35. Fliedel, G. and Yajid, M.

Effect of Milling on Sorghum Tö Quality
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

36. Friedrich H.P, Handreck B.

Einsatz von Stiftmühlen in Vermahlungsdiagramm von Weizen
Getreide Mehl und Brot 44 (1990) 3 S. 69-71

37. Galiba, M. / Waniska, R.D. / Rooney L.W. and Miller, F. R.

Couscous Quality of Sorghum with Different Kernel Characteristics.
Journal of Cereal Science 7 (1988), 183-193

38. Gerecke, K. H.

Prallmühleneinsatz in Mahlverfahren
Mühle und Mischfuttertechnik 123 (1986) 15 S. 181-182

39. Glennie, C.W.

Phisio-chemical Properties of Sorghum Starch Thermally Treated by
Different Methods.
Starch/Stärke 39 (1987) Nr. 8, S. 273-276

40. Glover, J.M. / Walker C.E. and Mattern P.J.

Funktionalität von Sorghum Flour Komponenten in a High Ratio Cake
Journal of Cereal Science 5 (1986) 1280-1283

41. Gomez, M.

Evaluation of 3 Sorghum varieties M 35-1, SPV 472 and WS 1297 in
Composite Flour Products, baked bread, bread steamed bread and cookies
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

42. Gomez, M. H. et. Al.

Changes in Corn and Sorghum During Nixtamalization and Tortilla Baking
Journal of Food Science Vol. 54, No. 2, 1989

43. Graham, G. G., MacLean, W. C., Morales, E.

Digestibility and utilization of protein and energy from Nasha, a traditional
Sudanese fermented Sorghum weaning food
Journal of Nutrition 1986, Vol. 116 ISS 6, 978-984

44. Gunther Franke

Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen I, II, IV
3. Auflage
S. Hirzel Verlag Leipzig 1981

45. Hallgren, L.

Lagers beers from Sorghum
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC,
St. Paul, MN, 1995, pp. 283-298.

46. Handreck, B. L. Pötschke

Einfluss unterschiedlicher Zerkleinerungsbedingungen in Prallmühlen auf
das Vermahlen von Weizengrieß
Getreidemehl und Brot 49 (1995) 4

47. Harden, M.L. Stanaland, R. Briley, M. and Yang, S.P.

The Nutritional Quality of Proteins in Sorghum.
Journal of Food Science 41 (1976), 1082-1085

48. Hart, M.R. Graham, R.P. Gee, M. and Morgan Jr., A.I.

Bread From Sorghum and Barley Flours
Journal of Food Science 35 (1970), 661-665

49. Hassan A. Al-Kahtani

Processing of Different Wheat Flour-Supplemented Sorghum Flakes
Sensory, Nutritional, and Microbiological Evaluation
Food Chemistry 33 (1989) 133-149

50. Hoseney Caryl R.

Principles of Cereal Science and Technology (second edition)
AACC Inc.
St. Paul, MN 55121-2097, USA

51. House, L. R.

Sorghum and Millets: History, Taxonomy and distribution
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC,
St. Paul, MN, 1995, pp. 1-10.

52. House, L.R., Osmanzai, M., Gomez, M.I., Monyo, E. S. and Gupta, S.C.

Agronomic Principles
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC,
St. Paul, MN, 1995, pp. 27-68.

53. Ingen Housz J. F.

Ähnlichkeitsbedingungen für die Modellübertragung von
Lebensmittelextrudern
ZFL 1/82, 48

54. IAR

Institute of Agricultural Research, unpublished Field crop production progress report

55. Jayalakshmi, N. and Neelakantan, S.

Studies on the acceptability of sorghum- Soya blends in south Indian dishes and their keeping quality
Indian Journal of Nutrition and Dietetics 1987, Vol. 24, ISS 5, 136-141

56. Jambunathan, R. and Mertz, E. T.

Relationship between tannin levels, rat growth, and distribution of proteins in sorghum.
Journal of Agricultural and Food Chemistry, 21(4), 692- 696

57. Johnson, B. A. / Rooney L.W: and Khan M. N.

Tortilla-Making Characteristics of Micronized Sorghum and Corn Flours.
Journal of Food Science 45 (1980), 671-674

58. Jones, R. W. and Beckwith, A. C.

Proximate composition and proteins of three grain Sorghum. Hybrids and their dry-mill fraction.
Journal of Agricultural and Food Chemistry, 18, 33-36

59. Karel Kulp / Joseph G. Ponte, Jr

Handbook of Cereal Science and Technology
Second Edition, Revised and Expanded
Marcel Dekker. Inc. 2000

60. Keya, E. L.

Utilization Implication of Pasting Viscosity Profiles of Sorghum Strarches
Department of Food Technology and Nutrition, Universty of Nairobi
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

61. Khan, M.N. / Rooney, L.W. / Rosenow, D.T: and Miller, F.R.

Sorghums with Improved Tortilla Making Characteristics
Journal of Food Science 45 (1980), 722

62. Killeit, U. und Wiedemann, W.M.

Einfluss der Kochextrusion auf die Stabilität von B-Vitaminen.
Getreide, Mehl und Brot 10/1984, 299

63. Kim, J.C.

Veränderung des Weizens durch Extrusion.
ZFL 5/82, 334

64. Kim, J.C./ Rottier, W.

Modification of Aestivum Wheat Semolina by Extrusion
Cereal Foods World Feb. 1980 Vol. 24, No.2 , 69

65. Klingler W. Rudolf

Grundlagen der Getreidetechnologie.
Studienausgabe
Behr's Verlag 1995

66. Klopfenstein, C. F. and Hosney, R. C.

Nutritional properties of Sorghum and The Millets
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC,
St. Paul, MN, 1995, pp. 125-168.

67. Klopfenstein, C. F. and Hosney, R. C. and Leipold, H. W.

Nutritional quality of pearl millet and Sorghum grain diets and a pearl millet
weanling food
Nutrition Reports International 1985, Vol. 31, ISS 2, 287-297

68. Knudsen, B. K. E. and Munck, L.

Dietary Fibre Contents and Compositions of Sorghum and Sorghum-based
Foods
Journal of Cereal Science 3 (1985), 153-164

69. Köhler, F. Meuser, F.

Einfluss der Extrusion auf Verwertbarkeit von Proteinen in Extrudaten auf
Getreidebasis
Lebensmitteltechnologie 3/1982, S. 88-90

70. Krishnaveni, S. Sadasivam, S. and Bala., T.

Sugar distribution in sweet stalk Sorghum
Food Chemistry 1984, Vol. 15, ISS 3, 229-232

71. Lemessa, F.

Untersuchungen zur Vermeidung von Verlusten bei der Lagerung von
Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in Pits in Ostoromia, Äthiopien
Dissertation D1994 TUB

72. Linko P.

HTST Extruder als Biochemischer Reaktor
Getreide, Mehl und Brot 12/82, 326

73. MacLean, W.C., Romana, G. L.

The effect of decortication and extrusion on the digestibility of Sorghum by
preschool children
Journal, of Nutrition: 1983, Vol 113, ISS 10, 2071-2077

74. Malleshi, N. G., daodu, M. A. and chandrasekhar, A.

Development of weaning food formulations based on malting and roller
drying of Sorghum and cowpea
International Journal of Food Science & Technology 1989,
Vol. 24 ISS 5, 511-519

75. Maxson, E. D., Fryar W. B. Rooney L. W., and Krishnaprasad M. N.

Milling properties of sorghum grain with different proportions of corneous to
floury endosperm
Cereal Chem., 48 : 478

76. Melotte, L. Iguti, F., Raoult, G. and Dufour, J. P.

The Protein Content of Sorghum Grain
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

77. Mbofung Carl, M.F. and Ndjouenkeu, R.

Influence of Milling Method and Peanut Extract in vitro Iron Availability from
Maize and Sorghum Flour Groues
Journal of Food Science 55 (1990), 1657-1659

78. Mercier, C.

Veränderung der Struktur und Verdaulichkeit von Getreidestärken beim
Extrudieren.
Getreide, Mehl und Brot 8/1984, 245

79. Mercier, C. Linko, P. and Harper, J.M.

Extrusions Cooking
AACC, 1989
St. Paul, Minnesota, 1989

80. Meuser, F. Schönberg, H. Stucke. B.

Einfluss der Trocknungsbedingungen auf Strukturelle Eigenschaften nicht
direkt expandierter Extrudaten
ZFL 40(1989)

81. Meuser, F. van Lengrich B. und Köhler F.

Einfluss der Extrusionsparameter auf Funktionelle Eigenschaften von
Weizenstärke
Starch /Stärke 34(1982) Nr. 11, S. 366-372

82. Meuser, F. van Lengrich. B. und H. Reimers

Kochextrusion von Stärken
Starch/Stärke 36(1984) Nr. 6, S.194-199

83. Millauer C.

Extrudieren von Nahrungsmitteln
ZFL 2/84

84. Millauer C. und Wiedemann W. M.

Einsatz von Extrudern in der Stärkeindustrie
Starch/Stärke 36(1984) Nr. 7, S.228-231

85. Miller D.

Zerkleinerungstechnik durch Prallmühle
Mühle und Mischfuttertechnik 127 (1990) 6 S. 61-64

86. Miller, O.H. and Burns, E.E.

Starch Characteristics of Selected Grain Sorghums as Related to Human
Foods.
Journal of Food Science 35 (1970), 666-668

87. Morad, M.M. / Doherty C.A. and Rooney L.W.

Effect of Sorghum Variety on Baking Properties of U.S. Conventional Bread,
Egyptian Pita "Balady" Bread and Cookies
Journal of Food Science 49 (1984), 1070-1074

88. Mosse, J. Huet, J. C. and Baudet, J.

The amino acid composition of whole sorghum grain in relation to its
nitrogen content
Cereal Chemistry 1988, Vol. 65, ISS 4, 271-271

89. Mulimani, V.H. and Supria, D.

Alpha-Amylase Inhibitor Activity in Sorghum Grains: Effect of Cooking and
UV Radiation.
Journal of Food Science Technology 30 (1993), 321-323

90. Munck, Lars

New Milling technology and products: whole plant utilization by milling and separation of the botanical and chemical components
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC, St. Paul, MN, 1995, pp. 223-281.

91. Murty, D. S., Singh, U., Suryaprakash, S. and Nikodemus, K. D.

Soluble sugars in five Endosperm types of Sorghum
Cereal Chemistry 1985, Vol. 62, ISS 2, 150-152

92. Murty, D. S. and Kumar, K. A.

Traditional uses of Sorghum and Millets
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC, St. Paul, MN, 1995, pp. 185- 221.

93. Mussa Jani

Untersuchungen zur Verbesserung der Verfahrenführung und der Produktqualität traditioneller afrikanischer, alkoholarmen Getränke am Beispiel von Mbgebier in Tansania
D83/ FB 15 Nr. 114 TUB

94. Mwasaru M. A.

Development of new Sorghum foods in Kenya
Journal of Food and Agriculture 1987, Vol. 1, ISS 1, 57- 60

95. Mwasaru M. A.

Factors affecting the abrasive dehulling efficiency of high tannin Sorghum.
Cereal Chem., 65, 171- 174

96. Obizoba, I. C.

The nutritive value of mixtures of two varieties of bambarra groundnut and Sorghum
Cereal Chemistry 1989, Vol. 66, ISS 4, 249-251

97. Odunfa S.A. and Adeyele S.

Microbiological Changes During the Traditional Production of ogi-baba, a West African Fermented Sorghum Gruel
Journal of Cereal Science 3 (1985) 173-180

98. Okeiyi, E. C. and Futrell, M. F.

Evaluation of Protein quality of formulation of Sorghum grain flour and legume seeds
Nutrition Reports Int. 1983, Vol. 28, ISS 3, PG 451-461

99. Olatunji, O. Osinbanjo, A. et, al.

Improvement in The Quality of Non- Wheat Composite Bread
Federal Institute of Industrial research Oshodi, Lagos
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

100. Olkku, J. Hassinen, H.. Antila J und Pohjanpalo H.

Prozessdynamik und Automisation der Hochtemperatur- Kurzzeit- Extrusion
Getreide, Mehl und Brot 2/80, 46

101. Osagie, A. U.

Total lipids of Sorghum grain
Journal of Agricultural and Food Chemistry 1987, Vol. 35, ISS 4, 601-604

102. Osuntogun, B. A., Adewusi, S. R. Ogundiwin, J. and Nwasike, C. C.

Effect of cultivar, steeping, and malting on tannin, total polyphenol, and
cyanide content of Nigerian Sorghum
Cereal Chemistry 1989, Vol. 66, ISS 2, 87- 89

103. Padmanabhan, M. and Bhattacharya, M.

Extrudate Expansion during Extrusion Cooking of Foods.
Cereal Foods World 34 (1989), No. 11, S.945-949

104. Panasiuk, O. and Bllls, D.D.

Cyanide Content of Sorghum Sprouts
Journal of Food Science 49 (1984), 791-793

105. Papotto, G. Guidolin, E. Stefani, L. Virtucio L.

Neue Entwicklungen beim Herstellen vorgekochter Mehle und
vorgelatinierter Stärken durch Einsatz eines Low-Schär Kochextruder
ZFL8/87

106. Parker, M. L., Umeta, M. and Faulks, M. L.

The contribution of flour components to the structure of injera, an Ethiopian
fermented bread made from tef (Eragrostis tef)
Journal of Cereal Science , 10:93 (1989)

107. Peebles, M.L. and MarschallJr, J.T.

Process for Obtaining Starch from selected Grain Sorghum Fractions.
Journal of Food Science 35 (1970), 377-378

108. Perten Harald

Industrial Processing of Millet and Sorghum
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

109. Pomeranz, Y.

Wheat Chemistry and Technology (Volume I, II)
AACC Inc.
St. Paul, Minnesota 55121, USA

110. Rooney, L.W.

Critical Progress in Sorghum Utilization and Improvement
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992

111. Rooney, L. W.

Sorghum and pearl millet lipids
Cereal chem., 55:584 (1978)

112. Rooney, L. W., Kirleis, A. W. and Murty, D. S

Traditional foods from Sorghum: their production, evaluation, and nutritional value
Cereal science and Technology 1986, Vol. 8, 317- 353

113. Ruhl L.

Verbesserte Produktionsergebnisse durch modifizierte Schnecken
Lebensmitteltechnik 6/89

114. Ruhl L.

Standzeitverbesserung von Extruderschnecken und Zylindern durch geeignete Werkstoffauswahl
Lebensmitteltechnik 6/89

115. Savage, G. P.

Influence of tannin- binding substances on the quality of yellow and brown Sorghum
Nutrition Reports International 1989, Vol. 39, ISS 2, 359-366

116. Schaffert, R. E.

Sweet Sorghum substrate for industrial Alcohol
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC, St. Paul, MN, 1995, pp. 365-374.

117. Scheffler, E.

Einführung in die Praxis der Statistischen Versuchsplanung
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
Leipzig 1974

118. Scheuring J. F., Sidibe S., Rooney L. W. and Earp C. F.

Sorghum pericarp thickness and its relation to decortication in a wooden
mortar and pestle
Cereal Chem., 60, 87-89

119. Schubert, W.

Die Landwirtschaft in Äthiopien
Länderinformation zur Entwicklung der Landwirtschaft 1991/1

120. Schultz R.

Der Extruder Teil 1: Eine Typenübersicht
Mischfüttertechnik 1989/17

121. Schultz R.

Der Extruder Teil 2: Detailfunktionen
Die Mühle und Mischfüttertechnik Heft 20 May 1989

122. Seibel W. und Seiler K.

Zusammenhänge zwischen Rohstoffeigenschaften, Extrusionsverhalten
und Extrudateigenschaften
Vortrag Internackseminar 1974

123. Seibel W. und Seiler K.

Qualitätsbeurteilung von Getreideextrudaten nach einem 5- Punkt- Schema
Veröffentlichung Nr. 5191 der bundesforschungsanstalt für Getreide- und
Kartoffelverarbeitung

124. Seibel, W. / Seiler, K. und Elsner, G.

Wirkung von extrudierten Weizenmehlen auf die Qualitätseigenschaften von
Feinen Backwaren.
Getreide, Mehl und Brot 6/1984, 182

125. Seiler K.

Veränderung des Nährwerts bei Extrudierten Produkten.
Lebensmitteltechnik 3/82

126. Seiler, K. / Seibel, W.

Sensorische Bewertung von Extruderprodukten.
Getreide, Mehl und Brot 3/1981, 81

127. Seiler, K.

Extrudieren eine Technologie mit Zukunft
Lebensmitteltechnik 1-2/81

128. Serena- Salvador, S. O. et. Al.,

Nutritional Value of Sorghum and maize Tortillas
Journal of Cereal Science 7/1988, S. 93-94

129. Serena- Salvador and Rooney, W. Lloyd

Structure and chemistry of Sorghum and Millets
Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (D.A.V. Dendy, ed) AACC,
St. Paul, MN, 1995, pp. 69-124.

130. Shepherd A. D.

A laboratory abrasive decorticating mill for small grains
Cereal Chem., 56, 517- 519

131. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr. 104

132. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr. 100/1

133. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr. 136

134. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr. 105/1

135. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr. 136

136. Standards- Methoden der Internationale Gesellschaft für
Getreidechemie(ICC)
ICC-Standard Nr.

137. Subramanian, V. / Jambunathan, R. and Sambasiva Rao, N.
Textural Properties of Sorghum Dough
Journal of Food Science 48 (1983), 1650
138. Suckow, P. / Pfaller W. und Meuser, F.
Eigenschaften von Ballaststoffen und ihr Verhalten bei der Kochextrusion I+II.
Lebensmitteltechnik 9/88, 441
139. Taur, A. T., Pawar, V. D. and Ingle, U. M.
Nutritional improvement of grain Sorghum by germination
Indian Journal of Nutrition and Dietetics 1984, Vol. 21, ISS 5, 168-173
140. Taylor J.R.N. and Schüssler L.
The Protein Compositions of the Different Anatomical Parts of Sorghum Grain
Journal of Cereal Science 4 (1986) 361-369
141. Taylor, J. R. N. and Dewar, J.
Sorghum Malting Technology
Division of Food Science and Technology, CSIR,
5th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets 1992
142. Tscheuschner H.D.
Lebensmitteltechnik
VEB Fachbuchverlag Leipzig 1986
143. Tschiersch
Zerkleinerung von Nahrungs- und Futtergetreide in Walzenstühlen
VEB Fachbuchverlag Leipzig 1982
144. UNDP Emergencies unit for Ethiopia
Agricultural production and diversification programmes
Food and cash crop
[http:// www.sas.upenn.edu/African_studies/eue_web/docs/fao_agr.htm](http://www.sas.upenn.edu/African_studies/eue_web/docs/fao_agr.htm)
145. Van Lengerich
Entwicklung und Anwendung eines rechnerunterstützten
Systemanalytischen Modells zur Extrusion von Stärken und Stärkehaltigen Rohstoffen
Dissertation D83 FB 13, Nr. 165. TUB 1984

146. Vessa, J.A.

Processing Characteristics of Kneading Single-Screw vs Corotating Twin-Screw Cereal Extrusion.
Cereal Foods World 35 (1990), No. 12, S. 1162-1165

147. Vivas- Rodriguez, N. E. Serena- Salvador, S. O. Waniska, R. D.

Effect of Tortilla Chip Preparation on the Protein Fraction of Quality Protein maize, Regular maize and Sorghum

148. Waniska, R.D. / Poe, J.H. Bandyopadhyay, R.

Effects of Growth Conditions on Grain Molding and Phenols in Sorghum Caryopsis.
Journal of Cereal Science 10 (1989), 217-225

149. Wills R.B.H. and Ali M.R.

Effect of Grain Size on Degree of Milling, Color and Cooking Time of Sorghum
Journal of Food Science 48 (1983)

150. Wills R.B.H. and Ali M.R.

Effect of grain in size on dehulling of sorghum
Cereal Chem., 60, 12-14

151. Yacu, V.

Process Instrumentation and Control in Food Extruders.
Cereal Foods World 35 (1990), No. 9, S. 919-926

152. Youssef. A. M., Moharram. Y.G. u. a.

New Extruded Products from Sorghum
Food Chemistry 1990, Vol. 37, ISS 3, PG 189-189

153. Zogg M.

Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik
Teubner, B.G. Stuttgart 1993

154. Zwingelberg H.

Einsatzmöglichkeiten der Prallmaschine in der Schälmmüllerei
Getreide Mehl und Brot 10/1988

155. Zwingelberg H.

Prallzerkleinerung und Windsichtung, Weizeneigenschaften und Mehlqualität
Getreide Mehl und Brot 51(1997)1 S. 40-45

156. Zwingelberg H.

Prallzerkleinerung und Windsichtung Integriert in ein Vermahlungssystem
Getreide Mehl und Brot 52(1998)1 S. 18-23

157. Zwingelberg H.

Mehlqualität in Abhängigkeit von Siebbespannung, Beschüttung und
Prallzerkleinerung
Getreide Mehl und Brot 47(1993)6 S. 19-24

158. Zwingelberg H.

Vorzerkleinerung und Mehleigenschaften des Brotgetreide
Getreide Mehl und Brot 47(1977)3 S. 66-69

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Statistik für Sorghum Produktion 1996 /33/	7
Tabelle 2 Statistik für Millet Produktion 1996 /33/.....	8
Tabelle 3: Sorghumanbauzonen /54/.....	13
Tabelle 4: Charakteristik der verbesserten Sorghumsorten /54/	13
Tabelle 5: Morphologische Eigenschaften von Sorghum / 26,71/	14
Tabelle 6: chemische Zusammensetzung des Sorghumkornes /26/.....	15
Tabelle 7: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Getreidearten	15
Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung von Sorghumkomponenten (i. Tr.).	15
Tabelle 9: Angaben über die Proteinfraction in den Sorghumkörnern /129/.	19
Tabelle 10: Mineralstoff- und Vitamingehalt der unterschiedlichem Getreidearten (mg/100g) (i. Tr.) / 26, 59, 65/.....	21
Tabelle 11. Chemischenzusammensetzung der geschälten Sorghumkorn in %	25
Tabelle 12: Ausbeute und Inhaltsstoffgehalt von drei Sorghumsorten	27
Tabelle 13: Erzielten Ausbeutewerten nach Walzenstuhlzerkleinerung	27
Tabelle 14 Chemische Zusammensetzung der untersuchten Mahlprodukten	28
Tabelle 15: Halbnasswalzenstuhlvermahlung von zwei unterschiedlichen Sorghumsorten (nach D. A.V. Dendy /26/).....	32
Tabelle 16: Inhaltsstoffe und technologische Eigenschaften des untersuchten Materials	38
Tabelle 17: Variablenplan für die Schälversuche.....	41
Tabelle 18: Variablenplan für die Walzenstuhlzerkleinerung.....	41
Tabelle 19: Variablenplan für die Prallvermahlung.....	41
Tabelle 20: Variablenplan für die Extrusion	42
Tabelle 21: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte Seredo (* =% i. Tr.)	50
Tabelle 22: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte Birmash (* =% i.Tr.)	51
Tabelle 23: Ergebnisse der Schälversuche der Sorte AL70 (* =% i.Tr.).....	51
Tabelle 24: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo (Einzeloptimierung)	52
Tabelle 25: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70 (Einzeloptimierung)	52
Tabelle 26 : Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash.....	52
Tabelle 27: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen	53
Tabelle 28: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo	53
Tabelle 29: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70.....	53
Tabelle 30: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash	53
Tabelle 31: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte Seredo.....	68
Tabelle 32: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte Birmash	69
Tabelle 33: Ergebnisse der Prallzerkleinerung der Sorte AL70	69
Tabelle 34: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo.....	69
Tabelle 35: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70	70
Tabelle 36: Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash.....	70
Tabelle 37: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen	70
Tabelle 38: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo	70
Tabelle 39: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash	71
Tabelle 40: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70.....	71
Tabelle 41: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte Seredo	86

Tabelle 42: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte Birmash	87
Tabelle 43: Mahlergebnisse der Walzenstuhlzerkleinerung der Sorte AL70	87
Tabelle 44: Die errechneten Funktionen für die Sorte Seredo	88
Tabelle 45: Die errechneten Funktionen für die Sorte AL70	88
Tabelle 46: Die errechneten Funktionen für die Sorte Birmash (Einfachoptimierung)	88
Tabelle 47: Ideal- und Negativwerte der ausgewählten Antwortgrößen	89
Tabelle 48: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Seredo	89
Tabelle 49: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte Birmash	89
Tabelle 50: Mehrfachoptimierte Variable der Sorte AL70	89
Tabelle 51: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte Seredo	105
Tabelle 52: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte Birmash	105
Tabelle 53: Gemessene Systemgrößen und Zielgrößen beim Extrudieren der Sorte AL70	106
Tabelle 54: Errechnete Funktionen für die Sorte Seredo	106
Tabelle 55: Errechnete Funktionen für die Sorte AL70	106
Tabelle 56: Errechnete Funktionen für die Sorte Birmash	107
Tabelle 57: Expansionsindex des extrudierten Sorghums	111
Tabelle 58: Volumen des extrudierten Sorghums	112
Tabelle 59: Sedimentvolumen des extrudierten Sorghums	113
Tabelle 60: Kaltwasserlöslichkeit des extrudierten Sorghums	114
Tabelle 61: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Schälmaschine	118
Tabelle 62: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Schälmaschine	118
Tabelle 63: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Schälmaschine	118
Tabelle 64: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Prallmühle	120
Tabelle 65: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Prallmühle	120
Tabelle 66: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Prallmühle	121
Tabelle 67: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte AL70 mittels Walzenstuhl	123
Tabelle 68: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Birmash mittels Walzenstuhl	123
Tabelle 69: Errechnete und vorgeschlagene Einflussparameter für die Bearbeitung der Sorte Seredo mittels Walzenstuhl	124

13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Innere Struktur des Sorghumkornes /26/.....	16
Abbildung 2: Prozessschema der traditionellen Sorghumvermahlung.....	26
Abbildung 3: Schema einer industriellen Mühle für Sorghum mit einem Durchsatz von 2t/h. (Munck et al. /95/)	29
Abbildung 4: Maschinendurchlaufschema der Nassmahlung zur Stärkegewinnung (nach Watson /95/)	31
Abbildung 5: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum	54
Abbildung 6: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	55
Abbildung 7: Veränderung des Schälgrades der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	55
Abbildung 8: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum.....	57
Abbildung 9: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	57
Abbildung 10: Veränderung des Mineralstoffgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	58
Abbildung 11: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum	59
Abbildung 12: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	59
Abbildung 13: Veränderung des Fettgehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	60
Abbildung 14: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum.....	61
Abbildung 15: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	61
Abbildung 16: Veränderung des Rohproteingehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	62
Abbildung 17: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Feuchte am Optimum	63
Abbildung 18: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	63
Abbildung 19: Veränderung des Stärkegehaltes der geschälten Körner durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	64
Abbildung 20: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Feuchte am Optimum	65
Abbildung 21: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	65
Abbildung 22: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Schälzeit am Optimum.....	66
Abbildung 23: Veränderung der Ausbeute durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum.....	72
Abbildung 24: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	73
Abbildung 25: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	73
Abbildung 26: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Veränderung der Feuchtegehalt am Optimum.....	75
Abbildung 27: Veränderung der Mineralstoffgehalte durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	75

Abbildung 28: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	76
Abbildung 29: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum.....	77
Abbildung 30: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	77
Abbildung 31: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	78
Abbildung 32: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum.....	79
Abbildung 33: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	79
Abbildung 34: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	80
Abbildung 35: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum.....	81
Abbildung 36: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	81
Abbildung 37: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	82
Abbildung 38: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation des Feuchtegehaltes am Optimum	82
Abbildung 39: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	83
Abbildung 40: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit am Optimum	83
Abbildung 41: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Feuchte am Optimum.....	90
Abbildung 42: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	91
Abbildung 43: Veränderung der Ausbeute durch Variation des Mahlspaltes am Optimum.....	91
Abbildung 44: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum	92
Abbildung 45: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	93
Abbildung 46: Veränderung des Mineralstoffgehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum	93
Abbildung 47: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum.....	94
Abbildung 48: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	95
Abbildung 49: Veränderung des Fettgehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum.....	95
Abbildung 50: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum.....	96
Abbildung 51: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation der Abstehtzeit am Optimum.....	97
Abbildung 52: Veränderung des Proteingehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum	97
Abbildung 53: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Feuchte am Optimum.....	99
Abbildung 54: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation der Abstehtzeit durch Variation am Optimum.....	99

Abbildung 55: Veränderung des Stärkegehaltes durch Variation des Mahlspaltes am Optimum.....	100
Abbildung 56: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Feuchte am Optimum	101
Abbildung 57: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation der Abstehtzeit am Optimum	101
Abbildung 58: Veränderung des Tanningehaltes der Sorte Seredo durch Variation des Mahlspaltes am Optimum	102
Abbildung 59: spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME)	107
Abbildung 60: spezifischen mechanischen Energieeinleitung (SME)	108
Abbildung 61: Produkttemperatur der Sorte Seredo in Abhängigkeit der	109
Abbildung 62: Produkttemperatur der Sorte AL70 in Abhängigkeit der Einflussparameter	109
Abbildung 63: Produkttemperatur der Sorte Birmash in Abhängigkeit der Einflussparameter	110
Abbildung 64: Schälgrad der untersuchten unterschiedlichen Sorghumsorten	117
Abbildung 65: Siebdurchgang Prallvermahlung Probe 2.....	119
Abbildung 66: Siebdurchgang Prallvermahlung Probe 6.....	120
Abbildung 67: Siebdurchgang bei der Walzenstuhlvermahlung von Probe 1($X_1=13$, $X_2 = 20$ $X_3 = 0,2$)	122
Abbildung 68 Siebdurchgang bei der Walzenstuhlvermahlung von Probe 5 ($X_1=13$, $X_2 = 20$ $X_3 = 0,4$)	123
Abbildung 69. Vorschlag zur Prozessschema zur Industriellen Verarbeitung der Sorte Seredo	126
Abbildung 70. Vorschlag zur Prozessschema zur Industriellen Verarbeitung der Sorte AL70 und Birmash	127

14. Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 89,01% ($X_1 = 14,82$ $X_2 = 36,28$, $X_3 = 0,204$)	159
Anlage 2: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 79,22% ($X_1 = 14,19$ $X_2 = 44,05$, $X_3 = 0,39$)	159
Anlage 3: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 0,990 % ($X_1 = 13,24$ $X_2 = 39,09$, $X_3 = 0,26$)	160
Anlage 4: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,83 % ($X_1 = 16,12$ $X_2 = 56,03$, $X_3 = 0,32$)	160
Anlage 5: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,00 % ($X_1 = 13,74$ $X_2 = 39,97$ $X_3 = 0,23$)	161
Anlage 6: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,46 % ($X_1 = 16,10$ $X_2 = 54,56$, $X_3 = 0,33$)	161
Anlage 7: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 11,37% ($X_1 = 15,44$ $X_2 = 40,00$ $X_3 = 0,205$)	162
Anlage 8: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 10,65 % ($X_1 = 13,11$ $X_2 = 40,00$, $X_3 = 0,32$)	162
Anlage 9: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 86,09 % ($X_1 = 15,00$ $X_2 = 41,72$, $X_3 = 0,300$)	163
Anlage 10: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 83,67% ($X_1 = 15,00$ $X_2 = 20,50$, $X_3 = 0,30$)	163
Anlage 11: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 86,80 % ($X_1 = 14,35$, $X_2 = 43$, $X_3 = 108$)	164
Anlage 12: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 68,20 % ($X_1 = 15,05$, $X_2 = 42$, $X_3 = 70$)	164
Anlage 13: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,35 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 44$, $X_3 = 90$)	165
Anlage 14: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,29 % ($X_1 = 13$, $X_2 = 37$, $X_3 = 90$)	165
Anlage 15: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,63 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 45$, $X_3 = 88$)	166
Anlage 16: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 3,5 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 21$, $X_3 = 83$)	166
Anlage 17: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 11,85 % ($X_1 = 14,68$, $X_2 = 22$, $X_3 = 81$)	167
Anlage 18: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 11,30 % ($X_1 = 13,36$, $X_2 = 50$, $X_3 = 92$)	167
Anlage 19: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 80,05 % ($X_1 = 15,31$, $X_2 = 22$, $X_3 = 88$)	168
Anlage 20: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 77,54 % ($X_1 = 13,83$, $X_2 = 45,60$, $X_3 = 104,5$)	168
Anlage 21: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Maximum 17,63% ($X_1 = 14$, $X_2 = 2,20$, $X_3 = 47$)	169
Anlage 22: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Minimum 9,76% ($X_1 = 14,17$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 74$)	169
Anlage 23: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,297% ($X_1 = 14,55$, $X_2 = 2,40$, $X_3 = 47$) ..	170
Anlage 24: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,040% ($X_1 = 12,21$, $X_2 = 3,45$, $X_3 = 66$) ..	170
Anlage 25: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,749% ($X_1 = 14,82$, $X_2 = 1,45$, $X_3 = 53$)	171

Anlage 26: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 3,013% ($X_1 = 12,96$, $X_2 = 3,20$, $X_3 = 72$)	171
Anlage 27: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 13,28% ($X_1 = 15,47$, $X_2 = 5$, $X_3 = 57$)	172
Anlage 28: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 12,69 % ($X_1 = 13,31$, $X_2 = 2,43$, $X_3 = 47$)	172
Anlage 29: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 85,189% ($X_1 = 12,06$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 63$)	173
Anlage 30: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 80,512% ($X_1 = 14,24$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 53$)	173
Anlage 31: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,64% ($X_1 = 14,8$, $X_2 = 37$, $X_3 = 0,2$)	174
Anlage 32: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 68,76% ($X_1 = 14,94$, $X_2 = 42$, $X_3 = 0,4$)	174
Anlage 33: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,02% ($X_1 = 14,21$, $X_2 = 35,3$, $X_3 = 0,22$)	175
Anlage 34: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,80 % ($X_1 = 15,9$, $X_2 = 53$, $X_3 = 0,35$)	175
Anlage 35: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,4% ($X_1 = 14,11$, $X_2 = 31,3$, $X_3 = 0,22$)	176
Anlage 36: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,76% ($X_1 = 15,86$, $X_2 = 49,3$, $X_3 = 0,38$)	176
Anlage 37: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 9,53% ($X_1 = 15,5$, $X_2 = 23$, $X_3 = 0,27$)	177
Anlage 38: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 9,05% ($X_1 = 13,43$, $X_2 = 47$, $X_3 = 0,35$)	177
Anlage 39: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 87,13% ($X_1 = 16,96$, $X_2 = 42,30$, $X_3 = 0,30$)	178
Anlage 40: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 81,92% ($X_1 = 14,78$, $X_2 = 37$, $X_3 = 0,21$)	178
Anlage 41: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 85,90% ($X_1 = 15,72$, $X_2 = 36$, $X_3 = 107,8$)	179
Anlage 42: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 71,47% ($X_1 = 15$, $X_2 = 41$, $X_3 = 71,24$)	179
Anlage 43: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,35% ($X_1 = 14,85$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)	180
Anlage 44: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,26% ($X_1 = 17$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)	180
Anlage 45: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,03% ($X_1 = 16,89$, $X_2 = 44,30$, $X_3 = 92$)	181
Anlage 46: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,74% ($X_1 = 14,85$, $X_2 = 42,40$, $X_3 = 70$)	181
Anlage 47: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 12,53% ($X_1 = 14,75$, $X_2 = 40$, $X_3 = 93,0$)	182
Anlage 48: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 11,57% ($X_1 = 16,93$, $X_2 = 40$, $X_3 = 86$)	182
Anlage 49: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,19% ($X_1 = 15$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)	183
Anlage 50: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 83,19% ($X_1 = 15$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)	183
Anlage 51: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Maximum 26,84% ($X_1 = 13,67$, $X_2 = 3,5$, $X_3 = 74$)	184
Anlage 52: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 16,07% ($X_1 = 15,15$, $X_2 = 3,5$, $X_3 = 48$)	184

Anlage 53: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,49% ($X_1 = 15,89$ $X_2 = 3,27$, $X_3 = 57$)....	185
Anlage 54: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,22% ($X_1 = 13,37$ $X_2 = 3,45$, $X_3 = 74$)	185
Anlage 55: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,08% ($X_1 = 15,70$ $X_2 = 3,45$, $X_3 = 53$).....	186
Anlage 56: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,43% ($X_1 = 13,26$ $X_2 = 3,42$, $X_3 = 74$).....	186
Anlage 57: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 10,65% ($X_1 = 15,65$ $X_2 = 4,30$, $X_3 = 62$)..	187
Anlage 58: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 10,41% ($X_1 = 13,39$ $X_2 = 3,09$, $X_3 = 73$) ..	187
Anlage 59: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 82,02% ($X_1 = 12,9$ $X_2 = 3,5$, $X_3 = 60$).....	188
Anlage 60: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 79% ($X_1 = 15,99$ $X_2 = 3,5$, $X_3 = 60$)	188
Anlage 61: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 71,14 % ($X_1 = 13,98$ - $X_2 = 41$ - $X_3 = 0,22$)	189
Anlage 62: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 52,91 % ($X_1 = 15,50$ - $X_2 = 40,5$ - $X_3 = 0,4$)	189
Anlage 63: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,475 % ($X_1 = 13,90$ $X_2 = 28,8$ $X_3 = 0,23$)	190
Anlage 64: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,205 % ($X_1 = 16,38$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,37$) ...	190
Anlage 65: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,189% ($X_1 = 15,13$ $X_2 = 28,8$ $X_3 = 0,23$).....	191
Anlage 66: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,557% ($X_1 = 15,61$ $X_2 = 43,50$ $X_3 = 0,39$).....	191
Anlage 67: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 15,75% ($X_1 = 16,14$ $X_2 = 26,1$ $X_3 = 0,27$)192	
Anlage 68: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 14,75 % ($X_1 = 14,85$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,04$) .	192
Anlage 69: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 87,85% ($X_1 = 15,18$ $X_2 = 20$ $X_3 = 0,28$)...	193
Anlage 70: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 74,35 % ($X_1 = 13,10$ $X_2 = 41$ $X_3 = 0,28$) ..	193
Anlage 71: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,24 % ($X_1 = 13,13$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,28$)....	194
Anlage 72: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,00 % ($X_1 = 16,14$ - $X_2 = 35$ $X_3 = 0,37$) ...	194
Anlage 73: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,42 % ($X_1 = 14,27$ $X_2 = 49,23$ $X_3 = 104,95$).....	195
Anlage 74: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 63,90 % ($X_1 = 15,76$ $X_2 = 40,42$ $X_3 = 71,96$).....	195
Anlage 75: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,13 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 35$ $X_3 = 71$).....	196
Anlage 76: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,67 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 25,61$ $X_3 = 104$)	196
Anlage 77: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,15 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 40$ $X_3 = 70$).....	197
Anlage 78: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,90 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 40$ $X_3 = 92,5$)	197

Anlage 79: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 16,04 % ($X_1 = 16,74$ $X_2 = 42,8$ $X_3 = 97,6$)	198
Anlage 80: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 14,93 % ($X_1 = 15,06$ $X_2 = 40,75$ $X_3 = 70,85$)	198
Anlage 81: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 70 % ($X_1 = 16,78$ $X_2 = 38,54$ $X_3 = 84$)	199
Anlage 82: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 65,76 % ($X_1 = 14,40$ $X_2 = 31,38$ $X_3 = 106,5$)	199
Anlage 83: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 0,98 % ($X_1 = 13,14$ $X_2 = 43,25$ $X_3 = 87$)	200
Anlage 84: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,75 % ($X_1 = 16,7$ $X_2 = 41,9$ $X_3 = 83,15$)	200
Anlage 85: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Maximum 27,27 % ($X_1 = 13,47$ $X_2 = 3,42$ $X_3 = 74,02$)	201
Anlage 86: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Minimum 14,94 % ($X_1 = 14,53$ $X_2 = 3,24$ $X_3 = 46,67$)	201
Anlage 87: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,75 % ($X_1 = 14,62$ $X_2 = 3,20$ $X_3 = 46,08$)	202
Anlage 88: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,43 % ($X_1 = 12,09$ $X_2 = 3,6$ $X_3 = 62,77$)	202
Anlage 89: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,92 % ($X_1 = 14,58$ $X_2 = 3,22$ $X_3 = 46,35$)	203
Anlage 90: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,28 % ($X_1 = 12,50$ $X_2 = 3,13$ $X_3 = 68,84$)	203
Anlage 91: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 11,90 % ($X_1 = 14,22$ $X_2 = 4,24$ $X_3 = 73,30$)	204
Anlage 92: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,43 % ($X_1 = 12,09$ $X_2 = 3,6$ $X_3 = 62,77$)	204
Anlage 93: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,22 % ($X_1 = 12,25$ $X_2 = 2,54$ $X_3 = 65,24$)	205
Anlage 94: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 77,45 % ($X_1 = 14,15$ $X_2 = 4,12$ $X_3 = 45,85$)	205
Anlage 95: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum	206
Anlage 96: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum	206

15. Anlagen

Anhang 1/ Blatt1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte AL70
Walzenstuhlvermahlung

Anlage 1: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am
Maximum 89,01% ($X_1 = 14,82$ $X_2 = 36,28$, $X_3 = 0,204$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	85,558	-14,6	90,922	0,027	93,956
-2,325	10,350	86,679	-6,5	90,632	0,068	93,143
-1,920	11,160	87,591	1,6	90,342	0,108	92,155
-1,515	11,970	88,293	9,7	90,052	0,149	90,922
-1,110	12,780	88,786	17,8	89,762	0,189	89,654
-,705	13,590	89,07	25,9	89,472	0,229	88,141
-,300	14,4	89,144	34	89,182	0,270	86,453
,105	15,210	89,009	42,1	88,892	0,310	843,591
,510	16,020	88,665	50,2	88,602	0,351	82,553
,915	16,830	88,111	58,3	88,312	0,391	80,341
1,320	17,640	87,349	66,4	88,022	0,432	77,954
1,725	18,450	86,376	74,5	87,732	0,472	75,392
2,103	19,260	85,195	82,6	87,442	0,513	72,655
2,535	20,070	83,804	90,7	87,152	0,553	69,743
2,940	20,880	82,204	98,8	86,862	0,594	66,656

Anlage 2: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am
Minimum 79,22% ($X_1 = 14,19$ $X_2 = 44,05$, $X_3 = 0,39$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	68,974	-14,6	83,540	0,027	94,877
-2,325	10,350	71,253	-6,5	82,943	0,068	93,8
-1,920	11,160	73,322	1,6	82,347	0,108	92,549
-1,515	11,970	75,182	9,7	81,750	0,149	91,122
-1,110	12,780	76,832	17,8	81,153	0,189	89,521
-,705	13,590	78,274	25,9	80,557	0,229	87,744
-,300	14,4	79,506	34	79,960	0,270	85,793
,105	15,210	80,528	42,1	79,364	0,310	83,667
,510	16,020	81,342	50,2	78,767	0,351	81,366
,915	16,830	81,946	58,3	78,170	0,391	78,890
1,320	17,640	82,340	66,4	77,574	0,432	76,240
1,725	18,450	82,526	74,5	76,944	0,472	73,414
2,103	19,260	82,502	82,6	76,380	0,513	70,414
2,535	20,070	82,268	90,7	75,784	0,553	67,238
2,940	20,880	81,826	98,8	75,187	0,594	63,888

Anhang 1/ Blatt 2

Anlage 3: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 0,990 % ($X_1 = 13,24$ $X_2 = 39,09$, $X_3 = 0,26$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,476	-14,6	1,021	0,027	1,462
-2,325	10,350	1,341	-6,5	1,018	0,068	1,339
-1,920	11,160	1,223	1,6	1,015	0,108	1,235
-1,515	11,970	1,122	9,7	1,011	0,149	1,148
-1,110	12,780	1,039	17,8	1,008	0,189	1,079
-,705	13,590	0,973	25,9	1,004	0,229	1,028
-,300	14,4	0,924	34	1,001	0,270	0,995
,105	15,210	0,893	42,1	0,998	0,310	0,979
,510	16,020	0,879	50,2	0,994	0,351	0,982
,915	16,830	0,882	58,3	0,991	0,391	1,003
1,320	17,640	0,902	66,4	0,988	0,432	1,041
1,725	18,450	0,939	74,5	0,984	0,472	1,097
2,103	19,260	0,994	82,6	0,981	0,513	1,172
2,535	20,070	1,066	90,7	0,978	0,553	1,264
2,940	20,880	1,155	98,8	0,974	0,594	1,374

Anlage 4: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,83 % ($X_1 = 16,12$ $X_2 = 56,03$, $X_3 = 0,32$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,471	-14,6	0,936	0,027	1,316
-2,325	10,350	1,331	-6,5	0,924	0,068	1,193
-1,920	11,160	1,208	1,6	0,912	0,108	1,089
-1,515	11,970	1,103	9,7	0,901	0,149	1,002
-1,110	12,780	1,014	17,8	0,889	0,189	0,933
-,705	13,590	0,943	25,9	0,877	0,229	0,882
-,300	14,4	0,890	34	0,865	0,270	0,849
,105	15,210	0,853	42,1	0,853	0,310	0,833
,510	16,020	0,834	50,2	0,841	0,351	0,836
,915	16,830	0,8325	58,3	0,829	0,391	0,857
1,320	17,640	0,847	66,4	0,817	0,432	0,895
1,725	18,450	0,879	74,5	0,805	0,472	0,952
2,103	19,260	0,929	82,6	0,794	0,513	1,026
2,535	20,070	0,996	90,7	0,782	0,553	1,118
2,940	20,880	1,080	98,8	0,770	0,594	1,228

Anhang 1/ Blatt 3

Anlage 5: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,00 % ($X_1 = 13,74$ $X_2 = 39,97$ $X_3 = 0,23$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	3,360	-14,6	1,903	0,027	3,629
-2,325	10,350	3,293	-6,5	2,207	0,068	3,467
-1,920	11,160	3,225	1,6	2,462	0,108	3,324
-1,515	11,970	3,157	9,7	2,669	0,149	3,2
-1,110	12,780	3,090	17,8	2,827	0,189	3,096
-,705	13,590	3,022	25,9	2,936	0,229	3,011
-,300	14,4	2,954	34	2,996	0,270	2,945
,105	15,210	2,887	42,1	3,007	0,310	2,899
,510	16,020	2,819	50,2	2,970	0,351	2,871
,915	16,830	2,751	58,3	2,884	0,391	2,863
1,320	17,640	2,684	66,4	2,749	0,432	2,845
1,725	18,450	2,616	74,5	2,565	0,472	2,906
2,103	19,260	2,549	82,6	2,333	0,513	2,956
2,535	20,070	2,481	90,7	2,052	0,553	3,025
2,940	20,880	2,413	98,8	1,721	0,594	3,113

Anlage 6: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 2,46 % ($X_1 = 16,10$ $X_2 = 54,56$ $X_3 = 0,33$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	3,289	-14,6	1,831	0,027	3,502
-2,325	10,350	3,187	-6,5	2,089	0,068	3,302
-1,920	11,160	3,085	1,6	2,298	0,108	3,120
-1,515	11,970	2,983	9,7	2,458	0,149	2,958
-1,110	12,780	2,881	17,8	2,569	0,189	2,816
-,705	13,590	2,779	25,9	2,632	0,229	2,693
-,300	14,4	2,677	34	2,646	0,270	2,588
,105	15,210	2,575	42,1	2,611	0,310	2,504
,510	16,020	2,473	50,2	2,528	0,351	2,438
,915	16,830	2,371	58,3	2,395	0,391	2,392
1,320	17,640	2,269	66,4	2,214	0,432	2,365
1,725	18,450	2,167	74,5	1,984	0,472	2,358
2,103	19,260	2,065	82,6	1,706	0,513	2,369
2,535	20,070	1,963	90,7	1,378	0,553	2,400
2,940	20,880	1,861	98,8	1,002	0,594	2,451

Anhang 1/ Blatt 4

Anlage 7: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 11,37% ($X_1 = 15,44$ $X_2 = 40,00$ $X_3 = 0,205$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	8,609	-14,6	11,372	0,027	11,490
-2,325	10,350	9,310	-6,5	11,372	0,068	11,463
-1,920	11,160	9,909	1,6	11,372	0,108	11,437
-1,515	11,970	10,405	9,7	11,372	0,149	11,410
-1,110	12,780	10,799	17,8	11,372	0,189	11,383
-,705	13,590	11,090	25,9	11,372	0,229	11,356
-,300	14,4	11,279	34	11,372	0,270	11,330
,105	15,210	11,366	42,1	11,372	0,310	11,303
,510	16,020	11,351	50,2	11,372	0,351	11,276
,915	16,830	11,233	58,3	11,372	0,391	11,249
1,320	17,640	11,013	66,4	11,372	0,432	11,223
1,725	18,450	10,690	74,5	11,372	0,472	11,196
2,103	19,260	10,265	82,6	11,372	0,513	11,169
2,535	20,070	9,738	90,7	11,372	0,553	11,142
2,940	20,880	9,108	98,8	11,372	0,594	11,115

Anlage 8: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 10,65 % ($X_1 = 13,11$ $X_2 = 40,00$ $X_3 = 0,32$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	8,008	-14,6	10,649	0,027	11,360
-2,325	10,350	8,781	-6,5	10,649	0,068	11,263
-1,920	11,160	9,451	1,6	10,649	0,108	11,166
-1,515	11,970	10,019	9,7	10,649	0,149	11,069
-1,110	12,780	10,485	17,8	10,649	0,189	10,972
-,705	13,590	10,848	25,9	10,649	0,229	10,876
-,300	14,4	11,109	34	10,649	0,270	10,779
,105	15,210	11,267	42,1	10,649	0,310	10,682
,510	16,020	11,323	50,2	10,649	0,351	10,585
,915	16,830	11,277	58,3	10,649	0,391	10,489
1,320	17,640	11,128	66,4	10,649	0,432	10,392
1,725	18,450	10,877	74,5	10,649	0,472	10,295
2,103	19,260	10,524	82,6	10,649	0,513	10,198
2,535	20,070	10,068	90,7	10,649	0,553	10,101
2,940	20,880	9,510	98,8	10,649	0,594	10,005

Anhang 1/ Blatt 5

Anlage 9: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 86,09 % ($X_1 = 15,00$ $X_2 = 41,72$, $X_3 = 0,300$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	86,095	-14,6	70,284	0,027	97,303
-2,325	10,350	86,095	-6,5	74,414	0,068	94,224
-1,920	11,160	86,095	1,6	77,921	0,108	91,638
-1,515	11,970	86,095	9,7	80,804	0,149	89,546
-1,110	12,780	86,095	17,8	83,063	0,189	87,948
-,705	13,590	86,095	25,9	84,699	0,229	86,842
-,300	14,4	86,095	34	85,711	0,270	86,230
,105	15,210	86,095	42,1	86,099	0,310	86,111
,510	16,020	86,095	50,2	85,863	0,351	86,486
,915	16,830	86,095	58,3	85,004	0,391	87,354
1,320	17,640	86,095	66,4	83,522	0,432	88,715
1,725	18,450	86,095	74,5	81,415	0,472	90,570
2,103	19,260	86,095	82,6	78,685	0,513	92,917
2,535	20,070	86,095	90,7	75,331	0,553	95,759
2,940	20,880	86,095	98,8	71,354	0,594	99,093

Anlage 10: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 83,67% ($X_1 = 15,00$ $X_2 = 20,50$, $X_3 = 0,30$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	83,678	-14,6	70,284	0,027	94,886
-2,325	10,350	83,678	-6,5	74,414	0,068	91,807
-1,920	11,160	83,678	1,6	77,921	0,108	89,221
-1,515	11,970	83,678	9,7	80,804	0,149	87,129
-1,110	12,780	83,678	17,8	83,063	0,189	85,531
-,705	13,590	83,678	25,9	84,699	0,229	84,425
-,300	14,4	83,678	34	85,711	0,270	83,813
,105	15,210	83,678	42,1	86,099	0,310	83,694
,510	16,020	83,678	50,2	85,863	0,351	84,069
,915	16,830	83,678	58,3	85,004	0,391	84,937
1,320	17,640	83,678	66,4	83,522	0,432	86,298
1,725	18,450	83,678	74,5	81,415	0,472	88,153
2,103	19,260	83,678	82,6	78,685	0,513	90,500
2,535	20,070	83,678	90,7	75,331	0,553	93,342
2,940	20,880	83,678	98,8	71,354	0,594	96,676

Anhang 2/ Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte AL70 Prallzerkleinerung

Anlage 11: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 86,80 % ($X_1 = 14,35$, $X_2 = 43$, $X_3 = 108$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	93,396	-14,6	91,949	35400	28,371
-2,325	10,350	91,718	-6,5	90,426	43500	39,622
-1,920	11,160	90,271	1,6	89,165	51600	49,685
-1,515	11,970	89,053	9,7	88,165	59700	58,559
-1,110	12,780	88,066	17,8	87,427	67800	66,244
-,705	13,590	87,309	25,9	86,950	75900	72,741
-,300	14,4	86,783	34	86,734	84000	78,049
,105	15,210	86,486	42,1	86,780	92100	82,169
,510	16,020	86,420	50,2	87,087	100200	85,100
,915	16,830	86,584	58,3	87,656	108,300	86,842
1,320	17,640	86,978	66,4	88,486	116,400	87,397
1,725	18,450	87,603	74,5	89,577	124,500	86,762
2,103	19,260	88,458	82,6	90,930	132,600	84,939
2,535	20,070	89,543	90,7	92,545	140,700	81,927
2,940	20,880	90,858	98,8	94,420	148,800	77,727

Anlage 12: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 68,20 % ($X_1 = 15,05$, $X_2 = 42$, $X_3 = 70$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	74,905	-14,6	78,606	35400	28,306
-2,325	10,350	73,252	-6,5	76,333	43500	39,531
-1,920	11,160	71,830	1,6	74,321	51600	49,568
-1,515	11,970	70,639	9,7	72,570	59700	58,416
-1,110	12,780	69,677	17,8	71,08	67800	66,075
-,705	13,590	68,946	25,9	69,852	75900	72,546
-,300	14,4	68,445	34	68,886	84000	77,828
,105	15,210	68,174	42,1	68,18	92100	81,922
,510	16,020	68,134	50,2	67,737	100200	84,827
,915	16,830	68,323	58,3	67,554	108,300	86,544
1,320	17,640	68,743	66,4	67,633	116,400	87,072
1,725	18,450	69,394	74,5	67,974	124,500	86,411
2,103	19,260	70,274	82,6	68,576	132,600	84,562
2,535	20,070	71,385	90,7	69,439	140,700	81,524
2,940	20,880	72,726	98,8	70,564	148,800	77,298

Anhang 2/ Blatt 2

Anlage 13: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,35 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 44$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,993	-14,6	1,307	35400	1,577
-2,325	10,350	1,087	-6,5	1,312	43500	1,513
-1,920	11,160	1,166	1,6	1,317	51600	1,460
-1,515	11,970	1,230	9,7	1,323	59700	1,417
-1,110	12,780	1,281	17,8	1,328	67800	1,383
-,705	13,590	1,316	25,9	1,333	75900	1,360
-,300	14,4	1,338	34	1,338	84000	1,348
,105	15,210	1,345	42,1	1,344	92100	1,345
,510	16,020	1,338	50,2	1,349	100200	1,353
,915	16,830	1,316	58,3	1,354	108,300	1,371
1,320	17,640	1,280	66,4	1,359	116,400	1,399
1,725	18,450	1,23	74,5	1,365	124,500	1,438
2,103	19,260	1,165	82,6	1,370	132,600	1,486
2,535	20,070	1,086	90,7	1,375	140,700	1,545
2,940	20,880	0,992	98,8	1,381	148,800	1,614

Anlage 14: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,29 % ($X_1 = 13$, $X_2 = 37$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,989	-14,6	1,256	35400	1,522
-2,325	10,350	1,082	-6,5	1,261	43500	1,458
-1,920	11,160	1,161	1,6	1,267	51600	1,405
-1,515	11,970	1,226	9,7	1,272	59700	1,361
-1,110	12,780	1,276	17,8	1,277	67800	1,328
-,705	13,590	1,312	25,9	1,282	75900	1,305
-,300	14,4	1,334	34	1,288	84000	1,293
,105	15,210	1,341	42,1	1,293	92100	1,290
,510	16,020	1,333	50,2	1,298	100200	1,298
,915	16,830	1,312	58,3	1,304	108,300	1,316
1,320	17,640	1,276	66,4	1,309	116,400	1,344
1,725	18,450	1,225	74,5	1,314	124,500	1,383
2,103	19,260	1,160	82,6	1,319	132,600	1,431
2,535	20,070	1,081	90,7	1,325	140,700	1,490
2,940	20,880	0,988	98,8	1,330	148,800	1,559

Anlage 15: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,63 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 45$, $X_3 = 88$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	5,402	-14,6	3,320	35400	4,356
-2,325	10,350	4,918	-6,5	3,364	43500	4,168
-1,920	11,160	4,511	1,6	3,408	51600	4,008
-1,515	11,970	4,182	9,7	3,451	59700	3,877
-1,110	12,780	3,931	17,8	3,495	67800	3,7736
-,705	13,590	3,757	25,9	3,539	75900	3,699
-,300	14,4	3,661	34	3,583	84000	3,652
,105	15,210	3,642	42,1	3,626	92100	3,634
,510	16,020	3,701	50,2	3,670	100200	3,645
,915	16,830	3,837	58,3	3,714	108,300	3,684
1,320	17,640	4,085	66,4	3,758	116,400	3,751
1,725	18,450	4,343	74,5	3,801	124,500	3,846
2,103	19,260	4,713	82,6	3,845	132,600	3,970
2,535	20,070	5,159	90,7	3,889	140,700	4,123
2,940	20,880	5,684	98,8	3,932	148,800	4,303

Anlage 16: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 3,5 % ($X_1 = 15$, $X_2 = 21$, $X_3 = 83$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	5,258	-14,6	3,244	35400	3,861
-2,325	10,350	4,774	-6,5	3,301	43500	3,729
-1,920	11,160	4,367	1,6	3,357	51600	3,626
-1,515	11,970	4,038	9,7	3,414	59700	3,552
-1,110	12,780	3,787	17,8	3,470	67800	3,505
-,705	13,590	3,613	25,9	3,527	75900	3,487
-,300	14,4	3,516	34	3,583	84000	3,498
,105	15,210	3,498	42,1	3,639	92100	3,537
,510	16,020	3,557	50,2	3,696	100200	3,604
,915	16,830	3,693	58,3	3,752	108,300	3,700
1,320	17,640	3,907	66,4	3,809	116,400	3,824
1,725	18,450	4,199	74,5	3,865	124,500	3,976
2,103	19,260	4,568	82,6	3,922	132,600	4,157
2,535	20,070	5,015	90,7	3,978	140,700	4,366
2,940	20,880	5,540	98,8	4,035	148,800	4,604

Anhang 2/ Blatt 4

Anlage 17: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 11,85 % ($X_1 = 14,68$, $X_2 = 22$, $X_3 = 81$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	12,155	-14,6	13,968	35400	13,945
-2,325	10,350	12,107	-6,5	13,356	43500	13,380
-1,920	11,160	12,060	1,6	12,828	51600	12,899
-1,515	11,970	12,012	9,7	12,386	59700	12,502
-1,110	12,780	11,964	17,8	12,030	67800	12,188
-,705	13,590	11,917	25,9	11,758	75900	11,958
-,300	14,4	11,869	34	11,572	84000	11,812
,105	15,210	11,821	42,1	11,472	92100	11,749
,510	16,020	11,774	50,2	11,456	100200	11,770
,915	16,830	11,726	58,3	11,526	108,300	11,875
1,320	17,640	11,678	66,4	11,681	116,400	12,063
1,725	18,450	11,631	74,5	11,922	124,500	12,335
2,103	19,260	11,583	82,6	12,247	132,600	13,691
2,535	20,070	11,535	90,7	12,658	140,700	13,130
2,940	20,880	11,487	98,8	13,155	148,800	13,653

Anlage 18: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 11,30 % ($X_1 = 13,36$, $X_2 = 50$, $X_3 = 92$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	11,147	-14,6	14,182	35400	13,364
-2,325	10,350	11,179	-6,5	13,524	43500	12,818
-1,920	11,160	11,212	1,6	12,950	51600	12,356
-1,515	11,970	11,244	9,7	12,462	59700	11,978
-1,110	12,780	11,277	17,8	12,059	67800	11,683
-,705	13,590	11,309	25,9	11,741	75900	11,472
-,300	14,4	11,342	34	11,509	84000	11,344
,105	15,210	11,375	42,1	11,362	92100	11,300
,510	16,020	11,407	50,2	11,300	100200	11,340
,915	16,830	11,440	58,3	11,323	108,300	11,463
1,320	17,640	11,472	66,4	11,432	116,400	11,670
1,725	18,450	11,505	74,5	11,626	124,500	11,961
2,103	19,260	11,538	82,6	11,906	132,600	12,336
2,535	20,070	11,570	90,7	12,270	140,700	12,794
2,940	20,880	11,603	98,8	12,720	148,800	13,335

Anlage 19: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 80,05 % ($X_1 = 15,31$, $X_2 = 22$, $X_3 = 88$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	69,641	-14,6	80,894	35400	73,157
-2,325	10,350	72,333	-6,5	80,709	43500	75,129
-1,920	11,160	74,624	1,6	80,523	51600	76,771
-1,515	11,970	76,513	9,7	80,338	59700	78,081
-1,110	12,780	78,000	17,8	80,153	67800	79,060
-,705	13,590	79,086	25,9	79,967	75900	79,708
-,300	14,4	79,770	34	79,782	84000	80,026
,105	15,210	80,053	42,1	79,597	92100	80,011
,510	16,020	79,934	50,2	79,411	100200	79,666
,915	16,830	79,413	58,3	79,226	108,300	78,990
1,320	17,640	78,491	66,4	79,041	116,400	77,983
1,725	18,450	77,167	74,5	78,856	124,500	76,645
2,103	19,260	75,441	82,6	78,670	132,600	74,975
2,535	20,070	73,314	90,7	78,485	140,700	72,975
2,940	20,880	70,786	98,8	78,300	148,800	70,643

Anlage 20: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 77,54 % ($X_1 = 13,83$, $X_2 = 45,60$, $X_3 = 104,5$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	67,850	-14,6	80,276	35400	73,611
-2,325	10,350	70,542	-6,5	79,908	43500	75,319
-1,920	11,160	72,833	1,6	79,541	51600	76,696
-1,515	11,970	74,722	9,7	79,173	59700	77,742
-1,110	12,780	76,209	17,8	78,805	67800	78,456
-,705	13,590	77,295	25,9	78,438	75900	78,840
-,300	14,4	77,979	34	78,070	84000	78,893
,105	15,210	78,262	42,1	77,703	92100	78,614
,510	16,020	78,143	50,2	77,335	100200	78,005
,915	16,830	77,622	58,3	76,968	108,300	77,064
1,320	17,640	76,700	66,4	76,600	116,400	75,793
1,725	18,450	75,376	74,5	76,233	124,500	74,190
2,103	19,260	73,651	82,6	75,865	132,600	72,256
2,535	20,070	71,524	90,7	75,498	140,700	69,991
2,940	20,880	68,995	98,8	75,130	148,800	67,395

Anhang 3/ Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte AL70 Schälern

Anlage 21: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 17,63% ($X_1 = 14$, $X_2 = 2,20$, $X_3 = 47$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	23,012	-3,325	4,691	19,050	2,890
-2,325	9,350	21,450	-2,313	8,205	25,125	4,517
-1,920	10,160	20,154	-1,300	11,164	31,200	6,144
-1,515	10,970	19,122	-0,288	13,568	37,275	7,771
-1,110	11,780	18,355	0,725	15,416	43,350	9,398
-,705	12,590	17,854	1,737	16,709	49,425	11,025
-,300	13,4	17,617	2,750	17,448	55,500	12,652
,105	14,210	17,645	3,762	17,631	61,575	14,279
,510	15,020	17,939	4,775	17,259	67,650	15,906
,915	15,830	18,497	5,787	16,331	73,725	17,533
1,320	16,640	19,320	6,800	14,849	79,800	19,316
1,725	17,450	20,408	7,812	12,811	85,875	20,787
2,103	18,260	21,761	8,825	10,218	91,950	22,414
2,535	19,070	23,379	9,837	7,070	98,025	24,042
2,940	19,880	25,262	10,850	3,367	104,100	25,669

Anlage 22: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 9,76% ($X_1 = 14,17$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 74$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	15,760	-3,325	-3,910	19,050	2,096
-2,325	9,350	14,111	-2,313	-0,916	25,125	3,761
-1,920	10,160	12,726	-1,300	2,964	31,200	5,427
-1,515	10,970	11,606	-0,288	5,568	37,275	7,092
-1,110	11,780	10,751	0,725	7,617	43,350	8,758
-,705	12,590	10,160	1,737	9,111	49,425	10,423
-,300	13,4	9,835	2,750	10,049	55,500	12,089
,105	14,210	9,775	3,762	10,433	61,575	13,754
,510	15,020	9,980	4,775	10,261	67,650	15,420
,915	15,830	10,450	5,787	9,534	73,725	17,085
1,320	16,640	11,185	6,800	8,252	79,800	18,750
1,725	17,450	12,184	7,812	6,415	85,875	20,416
2,103	18,260	13,449	8,825	4,023	91,950	22,081
2,535	19,070	14,979	9,837	1,075	98,025	23,747
2,940	19,880	16,773	10,850	-2,427	104,100	25,412

Anhang 3/ Blatt 2

Anlage 23: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,297% ($X_1 = 14,55$, $X_2 = 2,40$, $X_3 = 47$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	0,628	-3,325	1,757	19,050	1,582
-2,325	9,350	0,782	-2,313	1,631	25,125	1,513
-1,920	10,160	0,916	-1,300	1,524	31,200	1,448
-1,515	10,970	1,031	-0,288	1,437	37,275	1,387
-1,110	11,780	1,125	0,725	1,369	43,350	1,332
-,705	12,590	1,200	1,737	1,320	49,425	1,281
-,300	13,4	1,254	2,750	1,292	55,500	1,235
,105	14,210	1,289	3,762	1,282	61,575	1,193
,510	15,020	1,304	4,775	1,292	67,650	1,157
,915	15,830	1,299	5,787	1,322	73,725	1,125
1,320	16,640	1,274	6,800	1,371	79,800	1,097
1,725	17,450	1,229	7,812	1,440	85,875	1,075
2,103	18,260	1,165	8,825	1,528	91,950	1,057
2,535	19,070	1,080	9,837	1,635	98,025	1,044
2,940	19,880	0,976	10,850	1,762	104,100	1,035

Anlage 24: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,040% ($X_1 = 12,21$, $X_2 = 3,45$, $X_3 = 66$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	0,530	-3,325	1,544	19,050	1,396
-2,325	9,350	0,678	-2,313	1,414	25,125	1,334
-1,920	10,160	0,806	-1,300	1,303	31,200	1,276
-1,515	10,970	0,914	-0,288	1,211	37,275	1,224
-1,110	11,780	1,002	0,725	1,139	43,350	1,176
-,705	12,590	1,070	1,737	1,087	49,425	1,133
-,300	13,4	1,118	2,750	1,054	55,500	1,094
,105	14,210	1,147	3,762	1,040	61,575	1,061
,510	15,020	1,156	4,775	1,046	67,650	1,032
,915	15,830	1,144	5,787	1,072	73,725	1,007
1,320	16,640	1,113	6,800	1,117	79,800	0,988
1,725	17,450	1,062	7,812	1,181	85,875	0,973
2,103	18,260	0,991	8,825	1,265	91,950	0,963
2,535	19,070	0,900	9,837	1,368	98,025	0,957
2,940	19,880	0,790	10,850	1,491	104,100	0,956

Anhang 3/ Blatt 3

Anlage 25: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 3,749% ($X_1 = 14,82$, $X_2 = 1,45$, $X_3 = 53$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,900	-3,325	4,519	19,050	2,915
-2,325	9,350	2,311	-2,313	4,295	25,125	3,223
-1,920	10,160	2,670	-1,300	4,106	31,200	3,462
-1,515	10,970	2,979	-0,288	3,952	37,275	3,632
-1,110	11,780	3,237	0,725	3,831	43,350	3,732
-,705	12,590	3,444	1,737	3,745	49,425	3,764
-,300	13,4	3,599	2,750	3,693	55,500	3,726
,105	14,210	3,704	3,762	3,675	61,575	3,620
,510	15,020	3,758	4,775	3,692	67,650	3,444
,915	15,830	3,760	5,787	3,742	73,725	3,199
1,320	16,640	3,712	6,800	3,827	79,800	2,885
1,725	17,450	3,612	7,812	3,946	85,875	2,502
2,103	18,260	3,461	8,825	4,100	91,950	2,050
2,535	19,070	3,260	9,837	4,287	98,025	1,529
2,940	19,880	3,007	10,850	4,509	104,100	0,938

Anlage 26: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 3,013% ($X_1 = 12,96$, $X_2 = 3,20$, $X_3 = 72$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,390	-3,325	3,679	19,050	2,537
-2,325	9,350	1,801	-2,313	3,482	25,125	2,859
-1,920	10,160	2,161	-1,300	3,320	31,200	3,112
-1,515	10,970	2,470	-0,288	3,191	37,275	3,296
-1,110	11,780	2,728	0,725	3,097	43,350	3,411
-,705	12,590	2,935	1,737	3,038	49,425	3,457
-,300	13,4	3,090	2,750	3,012	55,500	3,433
,105	14,210	3,195	3,762	3,021	61,575	3,341
,510	15,020	3,249	4,775	3,063	67,650	3,179
,915	15,830	3,251	5,787	3,141	73,725	2,949
1,320	16,640	3,203	6,800	3,252	79,800	2,649
1,725	17,450	3,103	7,812	3,397	85,875	2,280
2,103	18,260	2,952	8,825	3,577	91,950	1,842
2,535	19,070	2,751	9,837	3,791	98,025	1,335
2,940	19,880	2,498	10,850	4,040	104,100	0,759

Anlage 27: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 13,28% ($X_1 = 15,47$, $X_2 = 5$, $X_3 = 57$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	12,732	-3,325	12,852	19,050	11,194
-2,325	9,350	12,796	-2,313	12,905	25,125	11,821
-1,920	10,160	12,861	-1,300	12,957	31,200	12,336
-1,515	10,970	12,925	-0,288	13,009	37,275	12,740
-1,110	11,780	12,989	0,725	13,061	43,350	13,032
-,705	12,590	13,053	1,737	13,114	49,425	13,213
-,300	13,4	13,118	2,750	13,166	55,500	13,282
,105	14,210	13,182	3,762	13,218	61,575	13,240
,510	15,020	13,246	4,775	13,270	67,650	13,086
,915	15,830	13,310	5,787	13,323	73,725	12,821
1,320	16,640	13,374	6,800	13,375	79,800	12,444
1,725	17,450	13,439	7,812	13,427	85,875	11,956
2,103	18,260	13,503	8,825	13,479	91,950	11,356
2,535	19,070	13,567	9,837	13,532	98,025	10,644
2,940	19,880	13,631	10,850	13,584	104,100	9,821

Anlage 28: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 12,69 % ($X_1 = 13,31$, $X_2 = 2,43$, $X_3 = 47$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	12,065	-3,325	12,202	19,050	10,282
-2,325	9,350	12,172	-2,313	12,282	25,125	11,010
-1,920	10,160	12,278	-1,300	12,363	31,200	11,625
-1,515	10,970	12,385	-0,288	12,443	37,275	12,130
-1,110	11,780	12,491	0,725	12,524	43,350	12,522
-,705	12,590	12,597	1,737	12,604	49,425	12,804
-,300	13,4	12,704	2,750	12,684	55,500	12,973
,105	14,210	12,810	3,762	12,765	61,575	13,031
,510	15,020	12,917	4,775	12,845	67,650	12,978
,915	15,830	13,023	5,787	12,926	73,725	12,813
1,320	16,640	13,129	6,800	13,006	79,800	12,537
1,725	17,450	13,236	7,812	13,086	85,875	12,149
2,103	18,260	13,342	8,825	13,167	91,950	11,649
2,535	19,070	13,448	9,837	13,247	98,025	11,038
2,940	19,880	13,555	10,850	13,327	104,100	10,315

Anhang 3/ Blatt 5

Anlage 29: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 85,189% ($X_1 = 12,06$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 63$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	100,00	-3,325	19,050	19,050	81,140
-2,325	9,350	99,246	-2,313	25,125	25,125	81,699
-1,920	10,160	93,963	-1,300	31,200	31,200	82,258
-1,515	10,970	89,606	-0,288	37,275	37,275	82,817
-1,110	11,780	86,176	0,725	43,350	43,350	83,376
-,705	12,590	83,671	1,737	49,425	49,425	83,935
-,300	13,4	82,093	2,750	55,500	55,500	84,493
,105	14,210	81,441	3,762	61,575	61,575	85,052
,510	15,020	81,715	4,775	67,650	67,650	85,611
,915	15,830	82,915	5,787	73,725	73,725	86,170
1,320	16,640	85,041	6,800	79,800	79,800	86,729
1,725	17,450	88,093	7,812	85,875	85,875	87,288
2,103	18,260	92,071	8,825	91,950	91,950	87,847
2,535	19,070	96,976	9,837	98,025	98,025	88,406
2,940	19,880	102,806	10,850	104,1	104,100	88,965

Anlage 30: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 80,512% ($X_1 = 14,24$, $X_2 = 3,30$, $X_3 = 53$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	104,534	-3,325	69,505	19,050	77,383
-2,325	9,350	98,325	-2,313	72,529	25,125	77,942
-1,920	10,160	93,042	-1,300	75,068	31,200	78,501
-1,515	10,970	88,686	-0,288	77,123	37,275	79,060
-1,110	11,780	85,255	0,725	78,693	43,350	79,619
-,705	12,590	82,751	1,737	79,778	49,425	80,178
-,300	13,4	81,172	2,750	80,380	55,500	80,737
,105	14,210	80,520	3,762	80,496	61,575	81,296
,510	15,020	80,794	4,775	80,128	67,650	81,855
,915	15,830	81,994	5,787	79,276	73,725	82,414
1,320	16,640	84,120	6,800	77,939	79,800	82,972
1,725	17,450	87,172	7,812	76,118	85,875	83,531
2,103	18,260	91,150	8,825	73,812	91,950	84,090
2,535	19,070	96,055	9,837	71,022	98,025	84,649
2,940	19,880	101,885	10,850	67,747	104,100	85,208

Anhang 4/ Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Birmash Walzenstuhlvermahlung

Anlage 31: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,64% ($X_1 = 14,8$, $X_2 = 37$, $X_3 = 0,2$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	96,671	-14,6	85,798	0,027	88,889
-2,325	10,350	93,161	-6,5	85,460	0,068	88,434
-1,920	11,160	90,198	1,6	85,121	0,108	87,560
-1,515	11,970	87,782	9,7	84,783	0,149	86,267
-1,110	12,780	85,914	17,8	84,444	0,189	84,555
-,705	13,590	84,593	25,9	84,105	0,229	82,425
-,300	14,4	83,819	34	83,767	0,270	79,876
,105	15,210	83,593	42,1	83,428	0,310	76,908
,510	16,020	83,914	50,2	83,090	0,351	73,521
,915	16,830	84,782	58,3	82,751	0,391	69,715
1,320	17,640	86,198	66,4	82,413	0,432	65,491
1,725	18,450	88,161	74,5	82,074	0,472	60,848
2,103	19,260	90,672	82,6	81,736	0,513	55,786
2,535	20,070	93,729	90,7	81,397	0,553	50,306
2,940	20,880	97,334	98,8	81,058	0,594	44,407

Anlage 32: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 68,76% ($X_1 = 14,94$, $X_2 = 42$, $X_3 = 0,4$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	80,231	-14,6	71,483	0,027	88,550
-2,325	10,350	76,960	-6,5	71,093	0,068	88,111
-1,920	11,160	74,236	1,6	70,703	0,108	87,253
-1,515	11,970	72,060	9,7	70,313	0,149	85,976
-1,110	12,780	70,431	17,8	69,923	0,189	84,280
-,705	13,590	69,349	25,9	69,533	0,229	82,165
-,300	14,4	68,815	34	69,144	0,270	79,632
,105	15,210	68,828	42,1	68,754	0,310	76,680
,510	16,020	69,388	50,2	68,364	0,351	73,309
,915	16,830	70,496	58,3	67,974	0,391	69,520
1,320	17,640	72,151	66,4	67,58/4	0,432	65,312
1,725	18,450	74,353	74,5	67,194	0,472	60,685
2,103	19,260	77,103	82,6	66,805	0,513	55,639
2,535	20,070	80,400	90,7	66,415	0,553	50,174
2,940	20,880	84,244	98,8	66,025	0,594	44,291

Anhang 4/ Blatt 2

Anlage 33: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,02% ($X_1 = 14,21$, $X_2 = 35,3$, $X_3 = 0,22$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,149	-14,6	0,894	0,027	1,345
-2,325	10,350	1,127	-6,5	0,942	0,068	1,258
-1,920	11,160	1,104	1,6	0,980	0,108	1,181
-1,515	11,970	1,082	9,7	1,006	0,149	1,114
-1,110	12,780	1,059	17,8	1,022	0,189	1,055
-,705	13,590	1,037	25,9	1,027	0,229	1,006
-,300	14,4	1,015	34	1,022	0,270	0,966
,105	15,210	0,992	42,1	1,006	0,310	0,935
,510	16,020	0,970	50,2	0,979	0,351	0,914
,915	16,830	0,947	58,3	0,941	0,391	0,902
1,320	17,640	0,925	66,4	0,893	0,432	0,899
1,725	18,450	0,903	74,5	0,834	0,472	0,906
2,103	19,260	0,880	82,6	0,764	0,513	0,922
2,535	20,070	0,858	90,7	0,684	0,553	0,947
2,940	20,880	0,835	98,8	0,593	0,594	0,982

Anlage 34: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,80 % ($X_1 = 15,9$, $X_2 = 53$, $X_3 = 0,35$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,002	-14,6	0,722	0,027	1,302
-2,325	10,350	0,976	-6,5	0,770	0,068	1,206
-1,920	11,160	0,950	1,6	0,807	0,108	1,119
-1,515	11,970	0,924	9,7	0,834	0,149	1,042
-1,110	12,780	0,898	17,8	0,850	0,189	0,973
-,705	13,590	0,871	25,9	0,855	0,229	0,914
-,300	14,4	0,845	34	0,850	0,270	0,865
,105	15,210	0,819	42,1	0,833	0,310	0,824
,510	16,020	0,793	50,2	0,807	0,351	0,793
,915	16,830	0,766	58,3	0,769	0,391	0,772
1,320	17,640	0,740	66,4	0,721	0,432	0,759
1,725	18,450	0,714	74,5	0,662	0,472	0,756
2,103	19,260	0,688	82,6	0,592	0,513	0,762
2,535	20,070	0,661	90,7	0,512	0,553	0,778
2,940	20,880	0,635	98,8	0,421	0,594	0,803

Anhang 4/ Blatt 3

Anlage 35: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 2,4% ($X_1 = 14,11$, $X_2 = 31,3$ $X_3 = 0,22$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,712	-14,6	2,525	0,027	2,864
-2,325	10,350	2,656	-6,5	2,527	0,068	2,768
-1,920	11,160	2,600	1,6	2,519	0,108	2,671
-1,515	11,970	2,543	9,7	2,500	0,149	2,575
-1,110	12,780	2,487	17,8	2,470	0,189	2,479
-,705	13,590	2,431	25,9	2,429	0,229	2,383
-,300	14,4	2,375	34	2,377	0,270	2,286
,105	15,210	2,318	42,1	2,314	0,310	2,190
,510	16,020	2,262	50,2	2,240	0,351	2,094
,915	16,830	2,206	58,3	2,155	0,391	1,998
1,320	17,640	2,150	66,4	2,059	0,432	1,901
1,725	18,450	2,093	74,5	1,952	0,472	1,805
2,103	19,260	2,037	82,6	1,834	0,513	1,709
2,535	20,070	1,981	90,7	1,705	0,553	1,613
2,940	20,880	1,925	98,8	1,565	0,594	1,516

Anlage 36: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 1,76% ($X_1 = 15,86$, $X_2 = 49,3$, $X_3 = 0,38$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,234	-14,6	1,948	0,027	2,665
-2,325	10,350	2,173	-6,5	1,962	0,068	2,559
-1,920	11,160	2,112	1,6	1,965	0,108	2,453
-1,515	11,970	2,051	9,7	1,957	0,149	2,348
-1,110	12,780	1,990	17,8	1,938	0,189	2,242
-,705	13,590	1,928	25,9	1,908	0,229	2,136
-,300	14,4	1,867	34	1,867	0,270	2,031
,105	15,210	1,806	42,1	1,815	0,310	1,925
,510	16,020	1,745	50,2	1,752	0,351	1,819
,915	16,830	1,684	58,3	1,678	0,391	1,714
1,320	17,640	1,623	66,4	1,593	0,432	1,608
1,725	18,450	1,562	74,5	1,497	0,472	1,502
2,103	19,260	1,501	82,6	1,390	0,513	1,397
2,535	20,070	1,440	90,7	1,272	0,553	1,291
2,940	20,880	1,379	98,8	1,143	0,594	1,185

Anhang 4/ Blatt 4

Anlage 37: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 9,53%($X_1 = 15,5$, $X_2 = 23$, $X_3 = 0,27$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	8,135	-14,6	9,817	0,027	9,166
-2,325	10,350	8,473	-6,5	9,755	0,068	9,298
-1,920	11,160	8,764	1,6	9,693	0,108	9,401
-1,515	11,970	9,008	9,7	9,631	0,149	9,476
-1,110	12,780	9,206	17,8	9,569	0,189	9,522
-,705	13,590	9,357	25,9	9,507	0,229	9,539
-,300	14,4	9,462	34	9,445	0,270	9,527
,105	15,210	9,520	42,1	9,383	0,310	9,487
,510	16,020	9,531	50,2	9,321	0,351	9,419
,915	16,830	9,495	58,3	9,259	0,391	9,321
1,320	17,640	9,413	66,4	9,197	0,432	9,195
1,725	18,450	9,284	74,5	9,136	0,472	9,041
2,103	19,260	9,109	82,6	9,074	0,513	8,857
2,535	20,070	8,886	90,7	9,012	0,553	8,645
2,940	20,880	8,617	98,8	8,950	0,594	8,405

Anlage 38: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 9,05% ($X_1 = 13,43$, $X_2 = 47$, $X_3 = 0,35$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	7,852	-14,6	9,520	0,027	8,784
-2,325	10,350	8,190	-6,5	9,458	0,068	8,916
-1,920	11,160	8,481	1,6	9,396	0,108	9,019
-1,515	11,970	8,725	9,7	9,334	0,149	9,093
-1,110	12,780	8,923	17,8	9,272	0,189	9,139
-,705	13,590	9,075	25,9	9,210	0,229	9,157
-,300	14,4	9,179	34	9,148	0,270	9,145
,105	15,210	9,237	42,1	9,086	0,310	9,105
,510	16,020	9,248	50,2	9,024	0,351	9,036
,915	16,830	9,212	58,3	8,962	0,391	8,939
1,320	17,640	9,130	66,4	8,900	0,432	8,813
1,725	18,450	9,001	74,5	8,838	0,472	8,658
2,103	19,260	8,826	82,6	8,776	0,513	8,475
2,535	20,070	8,603	90,7	8,714	0,553	8,263
2,940	20,880	8,334	98,8	8,652	0,594	8,022

Anhang 4/ Blatt 5

Anlage 39: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 87,13% ($X_1 = 16,96$, $X_2 = 42,30$ $X_3 = 0,30$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	96,653	-14,6	85,299	0,027	71,483
-2,325	10,350	92,959	-6,5	85,559	0,068	75,536
-1,920	11,160	89,915	1,6	85,819	0,108	78,984
-1,515	11,970	87,522	9,7	86,079	0,149	81,827
-1,110	12,780	85,781	17,8	86,339	0,189	84,064
-,705	13,590	84,691	25,9	86,599	0,229	85,696
-,300	14,4	84,252	34	86,859	0,270	86,723
,105	15,210	54,464	42,1	87,119	0,310	87,144
,510	16,020	85,327	50,2	87,379	0,351	86,961
,915	16,830	86,842	58,3	87,639	0,391	86,172
1,320	17,640	89,008	66,4	87,899	0,432	84,777
1,725	18,450	91,825	74,5	88,159	0,472	82,778
2,103	19,260	95,293	82,6	88,419	0,513	80,173
2,535	20,070	99,412	90,7	88,679	0,553	76,963
2,940	20,880	100,00	98,8	88,939	0,594	73,148

Anlage 40: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 81,92% ($X_1 = 14,78$, $X_2 = 37$, $X_3 = 0,21$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	94,299	-14,6	80,257	0,027	68,442
-2,325	10,350	90,605	-6,5	80,517	0,068	72,495
-1,920	11,160	87,561	1,6	80,777	0,108	75,943
-1,515	11,970	85,168	9,7	81,037	0,149	78,785
-1,110	12,780	83,427	17,8	81,297	0,189	81,023
-,705	13,590	82,337	25,9	81,557	0,229	82,655
-,300	14,4	81,898	34	81,817	0,270	83,681
,105	15,210	82,110	42,1	82,077	0,310	84,103
,510	16,020	82,973	50,2	82,337	0,351	83,919
,915	16,830	84,488	58,3	82,597	0,391	83,130
1,320	17,640	86,654	66,4	82,857	0,432	81,736
1,725	18,450	89,471	74,5	83,117	0,472	79,737
2,103	19,260	92,939	82,6	83,377	0,513	77,132
2,535	20,070	97,058	90,7	83,637	0,553	73,922
2,940	20,880	100,00	98,8	83,897	0,594	70,107

Anhang 5 / Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Birmash Prallvermahlung

Anlage 41: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Maximum 85,90% ($X_1 = 15,72$, $X_2 = 36$, $X_3 = 107,8$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	99,200	-14,6	93,527	35,400	44,640
-2,325	10,350	95,414	-6,5	91,560	43,500	52,019
-1,920	11,160	92,245	1,6	89,879	51,600	58,701
-1,515	11,970	89,691	9,7	88,482	59,700	64,688
-1,110	12,780	87,753	17,8	87,370	67,800	69,978
-,705	13,590	86,432	25,9	86,543	75,900	74,572
-,300	14,4	85,727	34	86,000	84,000	78,471
,105	15,210	85,637	42,1	85,743	92,100	81,673
,510	16,020	86,164	50,2	85,770	100,200	84,179
,915	16,830	87,307	58,3	86,082	108,300	85,989
1,320	17,640	89,066	66,4	86,679	116,400	87,103
1,725	18,450	91,442	74,5	87,560	124,500	87,520
2,103	19,260	94,433	82,6	88,726	132,600	87,242
2,535	20,070	98,040	90,7	90,177	140,700	86,268
2,940	20,880	100,00	98,8	91,913	148,800	84,597

Anlage 42: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 71,47% ($X_1 = 15$, $X_2 = 41$, $X_3 = 71,24$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	85,595	-14,6	80,621	35,400	43,941
-2,325	10,350	81,732	-6,5	78,147	43,500	51,355
-1,920	11,160	78,485	1,6	76,318	51,600	58,073
-1,515	11,970	75,854	9,7	74,773	59,700	64,095
-1,110	12,780	73,839	17,8	73,514	67,800	69,421
-,705	13,590	72,440	25,9	72,539	75,900	74,051
-,300	14,4	71,658	34	71,849	84,000	77,985
,105	15,210	71,491	42,1	71,444	92,100	81,223
,510	16,020	71,491	50,2	71,323	100,200	83,764
,915	16,830	73,007	58,3	71,488	108,300	85,610
1,320	17,640	74,689	66,4	71,937	116,400	86,759
1,725	18,450	76,987	74,5	72,671	124,500	87,213
2,103	19,260	79,901	82,6	73,690	132,600	86,970
2,535	20,070	83,431	90,7	74,993	140,700	86,031
2,940	20,880	87,578	98,8	76,582	148,800	84,396

Anhang 5 / Blatt 2

Anlage 43: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,35% ($X_1 = 14,85$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,851	-14,6	1,349	35,400	1,191
-2,325	10,350	0,991	-6,5	1,349	43,500	1,234
-1,920	11,160	1,109	1,6	1,349	51,600	1,271
-1,515	11,970	1,203	9,7	1,349	59,700	1,300
-1,110	12,780	1,274	17,8	1,349	67,800	1,323
-,705	13,590	1,321	25,9	1,349	75,900	1,338
-,300	14,4	1,345	34	1,349	84,000	1,347
,105	15,210	1,346	42,1	1,349	92,100	1,348
,510	16,020	1,323	50,2	1,349	100,200	1,343
,915	16,830	1,278	58,3	1,349	108,300	1,331
1,320	17,640	1,208	66,4	1,349	116,400	1,312
1,725	18,450	1,116	74,5	1,349	124,500	1,286
2,103	19,260	1,000	82,6	1,349	132,600	1,253
2,535	20,070	0,860	90,7	1,349	140,700	1,213
2,940	20,880	0,698	98,8	1,349	148,800	1,166

Anlage 44: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,26% ($X_1 = 17$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,851	-14,6	1,265	35,400	1,107
-2,325	35,400	0,991	-6,5	1,265	43,500	1,151
-1,920	43,500	1,109	1,6	1,265	51,600	1,187
-1,515	51,600	1,203	9,7	1,265	59,700	1,216
-1,110	59,700	1,274	17,8	1,265	67,800	1,239
-,705	67,800	1,321	25,9	1,265	75,900	1,254
-,300	75,900	1,345	34	1,265	84,000	1,263
,105	84,000	1,346	42,1	1,265	92,100	1,265
,510	92,100	1,323	50,2	1,265	100,200	1,259
,915	100,200	1,278	58,3	1,265	108,300	1,247
1,320	108,300	1,208	66,4	1,265	116,400	1,228
1,725	116,400	1,116	74,5	1,265	124,500	1,202
2,103	124,500	1,000	82,6	1,265	132,600	1,169
2,535	132,600	0,860	90,7	1,265	140,700	1,129
2,940	140,700	0,698	98,8	1,265	148,800	1,082

Anhang 5 / Blatt 3

Anlage 45: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 3,03% ($X_1 = 16,89$, $X_2 = 44,30$, $X_3 = 92$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,901	-14,6	3,005	35,400	1,291
-2,325	10,350	2,915	-6,5	3,008	43,500	1,748
-1,920	11,160	2,929	1,6	3,012	51,600	2,136
-1,515	11,970	2,943	9,7	3,015	59,700	2,454
-1,110	12,780	2,957	17,8	3,018	67,800	2,702
-,705	13,590	2,971	25,9	3,022	75,900	2,881
-,300	14,4	2,986	34	3,025	84,000	2,990
,105	15,210	3,000	42,1	3,028	92,100	3,029
,510	16,020	3,014	50,2	3,032	100,200	2,999
,915	16,830	3,028	58,3	3,035	108,300	2,898
1,320	17,640	3,042	66,4	3,038	116,400	2,728
1,725	18,450	3,056	74,5	3,042	124,500	2,489
2,103	19,260	3,071	82,6	3,045	132,600	2,179
2,535	20,070	3,085	90,7	3,048	140,700	1,800
2,940	20,880	3,099	98,8	3,052	148,800	1,352

Anlage 46: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 2,74% ($X_1 = 14,85$, $X_2 = 42,40$, $X_3 = 70$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,646	-14,6	2,932	35,400	1,271
-2,325	10,350	2,661	-6,5	2,905	43,500	1,726
-1,920	11,160	2,675	1,6	2,878	51,600	2,111
-1,515	11,970	2,689	9,7	2,850	59,700	2,427
-1,110	12,780	2,703	17,8	2,823	67,800	2,673
-,705	13,590	2,717	25,9	2,796	75,900	2,849
-,300	14,4	2,732	34	2,769	84,000	2,956
,105	15,210	2,746	42,1	2,742	92,100	2,993
,510	16,020	2,760	50,2	2,715	100,200	2,960
,915	16,830	2,774	58,3	2,688	108,300	2,857
1,320	17,640	2,788	66,4	2,660	116,400	2,685
1,725	18,450	2,802	74,5	2,633	124,500	2,443
2,103	19,260	2,817	82,6	2,606	132,600	2,132
2,535	20,070	2,831	90,7	2,579	140,700	1,750
2,940	20,880	2,845	98,8	2,552	148,800	1,299

Anhang 5 / Blatt 4

Anlage 47: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 12,53% ($X_1 = 14,75$, $X_2 = 40$, $X_3 = 93,0$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	7,306	-14,6	8,590	35,400	7,781
-2,325	10,350	8,801	-6,5	9,666	43,500	9,017
-1,920	11,160	10,045	1,6	10,570	51,600	10,067
-1,515	11,970	11,160	9,7	11,303	59,700	10,931
-1,110	12,780	11,776	17,8	11,864	67,800	11,608
-,705	13,590	12,263	25,9	12,254	75,900	12,099
-,300	14,4	12,499	34	12,472	84,000	12,403
,105	15,210	12,483	42,1	12,518	92,100	12,521
,510	16,020	12,214	50,2	12,393	100,200	12,453
,915	16,830	11,694	58,3	12,096	108,300	12,198
1,320	17,640	10,921	66,4	11,628	116,400	11,757
1,725	18,450	9,897	74,5	10,988	124,500	11,130
2,103	19,260	8,621	82,6	10,176	132,600	10,316
2,535	20,070	7,092	90,7	9,193	140,700	9,316
2,940	20,880	5,312	98,8	8,038	148,800	8,129

Anlage 48: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 11,57% ($X_1 = 16,93$, $X_2 = 40$, $X_3 = 86$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	7,176	-14,6	7,710	35,400	7,090
-2,325	10,350	8,682	-6,5	8,776	43,500	8,295
-1,920	11,160	9,935	1,6	9,669	51,600	9,314
-1,515	11,970	10,936	9,7	10,391	59,700	10,146
-1,110	12,780	11,686	17,8	10,942	67,800	10,792
-,705	13,590	12,183	25,9	11,320	75,900	11,252
-,300	14,4	12,428	34	11,527	84,000	11,525
,105	15,210	12,422	42,1	11,563	92,100	11,612
,510	16,020	12,163	50,2	11,427	100,200	11,512
,915	16,830	11,653	58,3	11,119	108,300	11,227
1,320	17,640	10,890	66,4	10,640	116,400	10,754
1,725	18,450	9,876	74,5	9,989	124,500	10,096
2,103	19,260	8,609	82,6	9,166	132,600	9,251
2,535	20,070	7,091	90,7	8,172	140,700	8,220
2,940	20,880	5,320	98,8	7,006	148,800	7,002

Anlage 49: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,19% ($X_1 = 15$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	83,194	-14,6	76,988	35,400	69,609
-2,325	10,350	83,194	-6,5	78,693	43,500	73,341
-1,920	11,160	83,194	1,6	80,124	51,600	76,475
-1,515	11,970	83,194	9,7	81,283	59,700	79,010
-1,110	12,780	83,194	17,8	82,168	67,800	80,948
-,705	13,590	83,194	25,9	82,780	75,900	82,288
-,300	14,4	83,194	34	83,119	84,000	83,030
,105	15,210	83,194	42,1	83,185	92,100	83,174
,510	16,020	83,194	50,2	82,977	100,200	82,720
,915	16,830	83,194	58,3	82,497	108,300	81,668
1,320	17,640	83,194	66,4	81,743	116,400	80,018
1,725	18,450	83,194	74,5	80,716	124,500	77,770
2,103	19,260	83,194	82,6	79,416	132,600	74,924
2,535	20,070	83,194	90,7	77,843	140,700	71,481
2,940	20,880	83,194	98,8	75,996	148,800	67,439

Anlage 50: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 83,19% ($X_1 = 15$, $X_2 = 40$, $X_3 = 90$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	83,194	-14,6	76,988	35,400	69,609
-2,325	10,350	83,194	-6,5	78,693	43,500	73,341
-1,920	11,160	83,194	1,6	80,124	51,600	76,475
-1,515	11,970	83,194	9,7	81,283	59,700	79,010
-1,110	12,780	83,194	17,8	82,168	67,800	80,948
-,705	13,590	83,194	25,9	82,780	75,900	82,288
-,300	14,4	83,194	34	83,119	84,000	83,030
,105	15,210	83,194	42,1	83,185	92,100	83,174
,510	16,020	83,194	50,2	82,977	100,200	82,720
,915	16,830	83,194	58,3	82,497	108,300	81,668
1,320	17,640	83,194	66,4	81,743	116,400	80,018
1,725	18,450	83,194	74,5	80,716	124,500	77,770
2,103	19,260	83,194	82,6	79,416	132,600	74,924
2,535	20,070	83,194	90,7	77,843	140,700	71,481
2,940	20,880	83,194	98,8	75,996	148,800	67,439

Anhang 6 / Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Birmash Schälén

Anlage 51: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern am Maximum 26,84%($X_1 = 13,67$, $X_2 = 3,5$, $X_3 = 74$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	31,011	-3,325	26,841	19,050	20,764
-2,325	9,350	30,354	-2,313	26,841	25,125	18,752
-1,920	10,160	29,697	-1,300	26,841	31,200	17,415
-1,515	10,970	29,039	-0,288	26,841	37,275	16,753
-1,110	11,780	28,382	0,725	26,841	43,350	16,766
-,705	12,590	27,725	1,737	26,841	49,425	17,454
-,300	13,4	27,068	2,750	26,841	55,500	18,816
,105	14,210	26,410	3,762	26,841	61,575	20,853
,510	15,020	25,753	4,775	26,841	67,650	23,565
,915	15,830	25,096	5,787	26,841	73,725	26,952
1,320	16,640	24,438	6,800	26,841	79,800	31,013
1,725	17,450	23,781	7,812	26,841	85,875	35,749
2,103	18,260	23,124	8,825	26,841	91,950	41,160
2,535	19,070	22,466	9,837	26,841	98,025	47,246
2,940	19,880	21,809	10,850	26,841	104,100	54,007

Anlage 52: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern am Minimum 16,07% ($X_1 = 15,15$ $X_2 = 3,5$, $X_3 = 48$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	21,440	-3,325	16,076	19,050	19,571
-2,325	9,350	20,783	-2,313	16,076	25,125	17,560
-1,920	10,160	20,125	-1,300	16,076	31,200	16,223
-1,515	10,970	19,468	-0,288	16,076	37,275	15,561
-1,110	11,780	18,811	0,725	16,076	43,350	15,573
-,705	12,590	18,153	1,737	16,076	49,425	16,261
-,300	13,4	17,496	2,750	16,076	55,500	17,623
,105	14,210	16,839	3,762	16,076	61,575	19,660
,510	15,020	16,181	4,775	16,076	67,650	22,372
,915	15,830	15,524	5,787	16,076	73,725	25,759
1,320	16,640	14,867	6,800	16,076	79,800	29,820
1,725	17,450	14,209	7,812	16,076	85,875	34,557
2,103	18,260	13,552	8,825	16,076	91,950	39,968
2,535	19,070	12,895	9,837	16,076	98,025	46,054
2,940	19,880	12,238	10,850	16,076	104,100	52,814

Anhang 6 / Blatt 2

Anlage 53: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,49% ($X_1 = 15,89$ $X_2 = 3,27$, $X_3 = 57$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,541	-3,325	1,733	19,050	1,131
-2,325	9,350	1,473	-2,313	1,671	25,125	1,247
-1,920	10,160	1,420	-1,300	1,617	31,200	1,341
-1,515	10,970	1,383	-0,288	1,574	37,275	1,413
-1,110	11,780	1,362	0,725	1,539	43,350	1,463
-,705	12,590	1,356	1,737	1,514	49,425	1,491
-,300	13,4	1,366	2,750	1,498	55,500	1,496
,105	14,210	1,391	3,762	1,492	61,575	1,480
,510	15,020	1,432	4,775	1,494	67,650	1,441
,915	15,830	1,489	5,787	1,507	73,725	1,380
1,320	16,640	1,561	6,800	1,528	79,800	1,297
1,725	17,450	1,648	7,812	1,559	85,875	1,192
2,103	18,260	1,752	8,825	1,599	91,950	1,064
2,535	19,070	1,870	9,837	1,649	98,025	0,915
2,940	19,880	2,005	10,850	1,708	104,100	0,743

Anlage 54: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,22% ($X_1 = 13,37$ $X_2 = 3,45$, $X_3 = 74$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,336	-3,325	1,480	19,050	1,043
-2,325	9,350	1,277	-2,313	1,414	25,125	1,152
-1,920	10,160	1,235	-1,300	1,358	31,200	1,238
-1,515	10,970	1,208	-0,288	1,312	37,275	1,303
-1,110	11,780	1,196	0,725	1,274	43,350	1,345
-,705	12,590	1,200	1,737	1,246	49,425	1,365
-,300	13,4	1,220	2,750	1,228	55,500	1,363
,105	14,210	1,255	3,762	1,219	61,575	1,339
,510	15,020	1,306	4,775	1,219	67,650	1,293
,915	15,830	1,373	5,787	1,228	73,725	1,224
1,320	16,640	1,455	6,800	1,247	79,800	1,134
1,725	17,450	1,552	7,812	1,275	85,875	1,021
2,103	18,260	1,665	8,825	1,313	91,950	0,886
2,535	19,070	1,794	9,837	1,359	98,025	0,729
2,940	19,880	1,939	10,850	1,416	104,100	0,550

Anhang 6 / Blatt 3

Anlage 55: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 3,08% ($X_1 = 15,70$ $X_2 = 3,45$, $X_3 = 53$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	3,304	-3,325	2,863	19,050	3,625
-2,325	9,350	3,099	-2,313	2,894	25,125	3,529
-1,920	10,160	2,940	-1,300	2,925	31,200	3,432
-1,515	10,970	2,827	-0,288	2,956	37,275	3,335
-1,110	11,780	2,760	0,725	2,987	43,350	3,238
-,705	12,590	2,738	1,737	3,018	49,425	3,141
-,300	13,4	2,763	2,750	3,049	55,500	3,045
,105	14,210	2,833	3,762	3,080	61,575	2,948
,510	15,020	2,950	4,775	3,111	67,650	2,851
,915	15,830	3,112	5,787	3,142	73,725	2,754
1,320	16,640	3,320	6,800	3,173	79,800	2,657
1,725	17,450	3,575	7,812	3,204	85,875	2,561
2,103	18,260	3,875	8,825	3,235	91,950	2,464
2,535	19,070	4,221	9,837	3,266	98,025	2,367
2,940	19,880	4,613	10,850	3,297	104,100	2,270

Anlage 56: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 2,43% ($X_1 = 13,26$ $X_2 = 3,42$, $X_3 = 74$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	2,981	-3,325	2,522	19,050	3,298
-2,325	9,350	2,775	-2,313	2,509	25,125	3,201
-1,920	10,160	2,615	-1,300	2,495	31,200	3,104
-1,515	10,970	2,501	-0,288	2,482	37,275	3,008
-1,110	11,780	2,433	0,725	2,468	43,350	2,911
-,705	12,590	2,411	1,737	2,455	49,425	2,814
-,300	13,4	2,435	2,750	2,441	55,500	2,717
,105	14,210	2,504	3,762	2,428	61,575	2,620
,510	15,020	2,620	4,775	2,415	67,650	2,524
,915	15,830	2,781	5,787	2,401	73,725	2,427
1,320	16,640	2,989	6,800	2,388	79,800	2,330
1,725	17,450	3,242	7,812	2,374	85,875	2,233
2,103	18,260	3,542	8,825	2,361	91,950	2,137
2,535	19,070	3,887	9,837	2,348	98,025	2,040
2,940	19,880	4,278	10,850	2,334	104,100	1,943

Anhang 6 / Blatt 4

Anlage 57: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 10,65% ($X_1 = 15,65$ $X_2 = 4,30$, $X_3 = 62$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	11,078	-3,325	10,205	19,050	10,529
-2,325	9,350	10,882	-2,313	10,262	25,125	10,546
-1,920	10,160	10,724	-1,300	10,320	31,200	10,564
-1,515	10,970	10,604	-0,288	10,378	37,275	10,581
-1,110	11,780	10,521	0,725	10,436	43,350	10,599
-,705	12,590	10,477	1,737	10,493	49,425	10,616
-,300	13,4	10,470	2,750	10,551	55,500	10,634
,105	14,210	10,501	3,762	10,609	61,575	10,651
,510	15,020	10,571	4,775	10,667	67,650	10,669
,915	15,830	10,678	5,787	10,724	73,725	10,686
1,320	16,640	10,823	6,800	10,782	79,800	10,703
1,725	17,450	11,005	7,812	10,840	85,875	10,721
2,103	18,260	11,226	8,825	10,898	91,950	10,738
2,535	19,070	11,485	9,837	10,955	98,025	10,756
2,940	19,880	11,781	10,850	11,013	104,100	10,773

Anlage 58: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 10,41% ($X_1 = 13,39$ $X_2 = 3,09$, $X_3 = 73$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	11,019	-3,325	10,370	19,050	10,715
-2,325	9,350	10,823	-2,313	10,376	25,125	10,681
-1,920	10,160	10,664	-1,300	10,383	31,200	10,647
-1,515	10,970	10,544	-0,288	10,389	37,275	10,613
-1,110	11,780	10,461	0,725	10,395	43,350	10,578
-,705	12,590	10,417	1,737	10,401	49,425	10,544
-,300	13,4	10,410	2,750	10,407	55,500	10,510
,105	14,210	10,441	3,762	10,414	61,575	10,476
,510	15,020	10,510	4,775	10,420	67,650	10,442
,915	15,830	10,617	5,787	10,426	73,725	10,407
1,320	16,640	10,761	6,800	10,432	79,800	10,373
1,725	17,450	10,944	7,812	10,438	85,875	10,339
2,103	18,260	11,165	8,825	10,445	91,950	10,305
2,535	19,070	11,423	9,837	10,451	98,025	10,270
2,940	19,880	11,719	10,850	10,457	104,100	10,236

Anhang 6 / Blatt 5

Anlage 59: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 82,02% ($X_1 = 12,9$ $X_2 = 3,5$, $X_3 = 60$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	86,262	-3,325	82,019	19,050	94,312
-2,325	9,350	85,475	-2,313	82,019	25,125	90,935
-1,920	10,160	84,687	-1,300	82,019	31,200	88,099
-1,515	10,970	83,899	-0,288	82,019	37,275	85,804
-1,110	11,780	83,111	0,725	82,019	43,350	84,051
-,705	12,590	82,324	1,737	82,019	49,425	82,838
-,300	13,4	81,536	2,750	82,019	55,500	82,167
,105	14,210	80,748	3,762	82,019	61,575	82,037
,510	15,020	79,961	4,775	82,019	67,650	82,448
,915	15,830	79,173	5,787	82,019	73,725	83,400
1,320	16,640	78,385	6,800	82,019	79,800	84,893
1,725	17,450	77,597	7,812	82,019	85,875	86,927
2,103	18,260	76,810	8,825	82,019	91,950	89,502
2,535	19,070	76,022	9,837	82,019	98,025	92,619
2,940	19,880	75,234	10,850	82,019	104,100	96,276

Anlage 60: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 79% ($X_1 = 15,99$ $X_2 = 3,5$, $X_3 = 60$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	86,262	-3,325	79,008	19,050	91,302
-2,325	9,350	85,475	-2,313	79,008	25,125	87,925
-1,920	10,160	84,687	-1,300	79,008	31,200	85,089
-1,515	10,970	83,899	-0,288	79,008	37,275	82,794
-1,110	11,780	83,111	0,725	79,008	43,350	81,040
-,705	12,590	82,324	1,737	79,008	49,425	79,828
-,300	13,4	81,536	2,750	79,008	55,500	79,157
,105	14,210	80,748	3,762	79,008	61,575	79,026
,510	15,020	79,961	4,775	79,008	67,650	79,437
,915	15,830	79,173	5,787	79,008	73,725	80,389
1,320	16,640	78,385	6,800	79,008	79,800	81,882
1,725	17,450	77,597	7,812	79,008	85,875	83,916
2,103	18,260	76,810	8,825	79,008	91,950	86,492
2,535	19,070	76,022	9,837	79,008	98,025	89,608
2,940	19,880	75,234	10,850	79,008	104,100	93,266

Anhang 7 / Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Seredo Walzenstuhlvermahlung

Anlage 61: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 71,14 % ($X_1 = 13,98$ - $X_2 = 41$ - $X_3 = 0,22$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	89,183	-14,6	74,313	0,027	88,202
-2,325	10,350	85,036	-6,5	73,233	0,068	84,584
-1,920	11,160	81,273	1,6	72,364	0,108	80,966
-1,515	11,970	77,895	9,7	71,706	0,149	77,348
-1,110	12,780	74,901	17,8	71,258	0,189	73,729
-,705	13,590	72,292	25,9	71,021	0,229	70,111
-,300	14,4	70,067	34	70,994	0,270	66,493
,105	15,210	68,226	42,1	71,178	0,310	62,875
,510	16,020	66,770	50,2	71,573	0,351	59,257
,915	16,830	65,699	58,3	72,178	0,391	55,639
1,320	17,640	65,012	66,4	72,994	0,432	52,020
1,725	18,450	64,709	74,5	74,020	0,472	48,402
2,103	19,260	64,791	82,6	75,257	0,513	44,784
2,535	20,070	65,257	90,7	76,705	0,553	41,166
2,940	20,880	66,108	98,8	78,363	0,594	37,548

Anlage 62: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 52,91 % ($X_1 = 15,50$ - $X_2 = 40,5$ - $X_3 = 0,4$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	69,911	-14,6	58,499	0,027	83,499
-2,325	10,350	66,380	-6,5	57,068	0,068	80,138
-1,920	11,160	63,233	1,6	55,846	0,108	76,776
-1,515	11,970	60,471	9,7	54,836	0,149	73,415
-1,110	12,780	58,093	17,8	54,036	0,189	70,054
-,705	13,590	56,100	25,9	53,446	0,229	66,693
-,300	14,4	54,491	34	53,067	0,270	63,332
,105	15,210	53,267	42,1	52,899	0,310	59,971
,510	16,020	52,427	50,2	52,941	0,351	56,609
,915	16,830	51,971	58,3	53,194	0,391	53,248
1,320	17,640	51,900	66,4	53,658	0,432	49,887
1,725	18,450	52,214	74,5	54,332	0,472	46,526
2,103	19,260	52,912	82,6	55,216	0,513	43,165
2,535	20,070	53,994	90,7	56,312	0,553	39,804
2,940	20,880	55,461	98,8	57,617	0,594	36,442

Anhang 7 / Blatt 2

Anlage 63: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,475 % ($X_1 = 13,90$ $X_2 = 28,8$ $X_3 = 0,23$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,661	-14,6	1,791	0,027	1,693
-2,325	10,350	1,627	-6,5	1,711	0,068	1,650
-1,920	11,160	1,592	1,6	1,642	0,108	1,607
-1,515	11,970	1,558	9,7	1,583	0,149	1,564
-1,110	12,780	1,523	17,8	1,535	0,189	1,521
-,705	13,590	1,489	25,9	1,498	0,229	1,478
-,300	14,4	1,454	34	1,471	0,270	1,434
,105	15,210	1,420	42,1	1,454	0,310	1,391
,510	16,020	1,385	50,2	1,448	0,351	1,348
,915	16,830	1,350	58,3	1,452	0,391	1,305
1,320	17,640	1,316	66,4	1,467	0,432	1,262
1,725	18,450	1,281	74,5	1,492	0,472	1,219
2,103	19,260	1,247	82,6	1,528	0,513	1,176
2,535	20,070	1,212	90,7	1,574	0,553	1,133
2,940	20,880	1,178	98,8	1,631	0,594	1,090

Anlage 64: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,205 % ($X_1 = 16,38$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,37$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,539	-14,6	1,544	0,027	1,525
-2,325	10,350	1,499	-6,5	1,464	0,068	1,486
-1,920	11,160	1,459	1,6	1,395	0,108	1,448
-1,515	11,970	1,419	9,7	1,336	0,149	1,410
-1,110	12,780	1,380	17,8	1,287	0,189	1,371
-,705	13,590	1,340	25,9	1,249	0,229	1,333
-,300	14,4	1,300	34	1,221	0,270	1,294
,105	15,210	1,260	42,1	1,204	0,310	1,256
,510	16,020	1,220	50,2	1,198	0,351	1,217
,915	16,830	1,181	58,3	1,202	0,391	1,179
1,320	17,640	1,141	66,4	1,216	0,432	1,141
1,725	18,450	1,101	74,5	1,241	0,472	1,102
2,103	19,260	1,061	82,6	1,276	0,513	1,064
2,535	20,070	1,021	90,7	1,322	0,553	1,025
2,940	20,880	0,981	98,8	1,378	0,594	0,987

Anhang 7 / Blatt 3

Anlage 65: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 2,189% ($X_1 = 15,13$ $X_2 = 28,8$ $X_3 = 0,23$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,103	-14,6	3,375	0,027	2,790
-2,325	10,350	2,114	-6,5	3,047	0,068	2,668
-1,920	11,160	2,126	1,6	2,768	0,108	2,545
-1,515	11,970	2,137	9,7	2,535	0,149	2,423
-1,110	12,780	2,149	17,8	2,350	0,189	2,301
-,705	13,590	2,161	25,9	2,213	0,229	2,179
-,300	14,4	2,172	34	2,122	0,270	2,057
,105	15,210	2,184	42,1	2,080	0,310	1,934
,510	16,020	2,196	50,2	2,084	0,351	1,812
,915	16,830	2,207	58,3	2,136	0,391	1,690
1,320	17,640	2,219	66,4	2,235	0,432	1,568
1,725	18,450	2,230	74,5	2,382	0,472	1,445
2,103	19,260	2,242	82,6	2,576	0,513	1,323
2,535	20,070	2,254	90,7	2,817	0,553	1,201
2,940	20,880	2,265	98,8	3,106	0,594	1,079

Anlage 66: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 1,557% ($X_1 = 15,61$ $X_2 = 43,50$ $X_3 = 0,39$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,865	-14,6	2,972	0,027	2,659
-2,325	10,350	1,824	-6,5	2,628	0,068	2,537
-1,920	11,160	1,783	1,6	2,333	0,108	2,415
-1,515	11,970	1,742	9,7	2,084	0,149	2,292
-1,110	12,780	1,701	17,8	1,883	0,189	2,170
-,705	13,590	1,660	25,9	1,729	0,229	2,048
-,300	14,4	1,619	34	1,622	0,270	1,926
,105	15,210	1,578	42,1	1,563	0,310	1,804
,510	16,020	1,537	50,2	1,552	0,351	1,681
,915	16,830	1,496	58,3	1,587	0,391	1,559
1,320	17,640	1,455	66,4	1,670	0,432	1,437
1,725	18,450	1,414	74,5	1,801	0,472	1,315
2,103	19,260	1,373	82,6	1,978	0,513	1,192
2,535	20,070	1,331	90,7	2,204	0,553	1,070
2,940	20,880	1,290	98,8	2,476	0,594	0,948

Anhang 7 / Blatt 4

Anlage 67: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 15,75% ($X_1 = 16,14$ $X_2 = 26,1$ $X_3 = 0,27$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	14,932	-14,6	16,362	0,027	13,978
-2,325	10,350	15,033	-6,5	16,241	0,068	14,557
-1,920	11,160	15,233	1,6	16,119	0,108	15,023
-1,515	11,970	15,334	9,7	15,998	0,149	15,376
-1,110	12,780	15,434	17,8	15,876	0,189	15,615
-,705	13,590	15,535	25,9	15,755	0,229	15,741
-,300	14,4	15,635	34	15,634	0,270	15,754
,105	15,210	15,736	42,1	15,512	0,310	15,653
,510	16,020	15,836	50,2	15,391	0,351	15,439
,915	16,830	15,937	58,3	15,270	0,391	15,111
1,320	17,640	15,836	66,4	15,148	0,432	14,671
1,725	18,450	15,937	74,5	15,027	0,472	14,,117
2,103	19,260	16,037	82,6	14,905	0,513	13,449
2,535	20,070	16,138	90,7	14,784	0,553	12,668
2,940	20,880	16,338	98,8	14,663	0,594	11,774

Anlage 68: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 14,75 % ($X_1 = 14,85$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,04$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	14,539	-14,6	15,252	0,027	13,667
-2,325	10,350	14,572	-6,5	15,182	0,068	14,264
-1,920	11,160	14,604	1,6	15,112	0,108	14,712
-1,515	11,970	14,636	9,7	15,042	0,149	15,065
-1,110	12,780	14,669	17,8	14,972	0,189	15,304
-,705	13,590	14,701	25,9	14,902	0,229	15,430
-,300	14,4	14,734	34	14,832	0,270	15,443
,105	15,210	14,766	42,1	14,762	0,310	15,342
,510	16,020	14,798	50,2	14,693	0,351	15,128
,915	16,830	14,831	58,3	14,623	0,391	14,801
1,320	17,640	14,863	66,4	14,553	0,432	14,360
1,725	18,450	14,895	74,5	14,483	0,472	13,806
2,103	19,260	14,928	82,6	14,413	0,513	13,139
2,535	20,070	14,960	90,7	14,343	0,553	12,358
2,940	20,880	14,993	98,8	14,273	0,594	11,464

Anlage 69: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 87,85% ($X_1 = 15,18$ $X_2 = 20$ $X_3 = 0,28$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	49,976	-14,6	100	0,027	69,771
-2,325	10,350	59,685	-6,5	100	0,068	74,788
-1,920	11,160	67,962	1,6	100	0,108	78,992
-1,515	11,970	74,807	9,7	95,611	0,149	82,382
-1,110	12,780	80,220	17,8	89,332	0,189	84,959
-,705	13,590	84,200	25,9	84,759	0,229	86,722
-,300	14,4	86,749	34	81,891	0,270	87,672
,105	15,210	87,866	42,1	80,,730	0,310	87,808
,510	16,020	87,552	50,2	81,274	0,351	87,130
,915	16,830	85,805	58,3	83,524	0,391	85,639
1,320	17,640	82,626	66,4	87,480	0,432	83,334
1,725	18,450	78,015	74,5	93,142	0,472	80,216
2,103	19,260	71,973	82,6	100	0,513	76,284
2,535	20,070	64,498	90,7	100	0,553	71,539
2,940	20,880	55,592	98,8	100	0,594	65,980

Anlage 70: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 74,35 % ($X_1 = 13,10$ $X_2 = 41$ $X_3 = 0,28$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	49,976	-14,6	100	0,027	52,194
-2,325	10,350	59,685	-6,5	100	0,068	57,896
-1,920	11,160	67,962	1,6	97,202	0,108	62,785
-1,515	11,970	74,807	9,7	89,217	0,149	66,860
-1,110	12,780	80,220	17,8	82,938	0,189	70,122
-,705	13,590	84,200	25,9	78,364	0,229	72,569
-,300	14,4	86,749	34	75,497	0,270	74,204
,105	15,210	87,866	42,1	74,335	0,310	75,025
,510	16,020	87,552	50,2	74,880	0,351	75,032
,915	16,830	85,805	58,3	77,130	0,391	74,226
1,320	17,640	82,626	66,4	81,086	0,432	72,606
1,725	18,450	78,015	74,5	86,748	0,472	70,172
2,103	19,260	71,973	82,6	94,116	0,513	66,925
2,535	20,070	64,498	90,7	100	0,553	62,865
2,940	20,880	55,592	98,8	100	0,594	57,991

Anhang 7 / Blatt 6

Anlage 71: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,24 % ($X_1 = 13,13$ $X_2 = 43$ $X_3 = 0,28$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	5,411	-14,6	2,120	0,027	2,736
-2,325	10,350	4,512	-6,5	2,070	0,068	2,658
-1,920	11,160	3,721	1,6	2,042	0,108	2,580
-1,515	11,970	3,037	9,7	2,035	0,149	2,503
-1,110	12,780	2,460	17,8	2,050	0,189	2,425
-,705	13,590	1,991	25,9	2,086	0,229	2,348
-,300	14,4	1,629	34	2,144	0,270	2,270
,105	15,210	1,374	42,1	2,224	0,310	2,193
,510	16,020	1,227	50,2	2,325	0,351	2,115
,915	16,830	1,187	58,3	2,447	0,391	2,038
1,320	17,640	1,254	66,4	2,591	0,432	1,960
1,725	18,450	1,428	74,5	2,757	0,472	1,882
2,103	19,260	1,710	82,6	2,944	0,513	1,805
2,535	20,070	2,099	90,7	3,152	0,553	1,727
2,940	20,880	2,596	98,8	3,382	0,594	1,650

Anlage 72: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,00 % ($X_1 = 16,14$ - $X_2 = 35$ $X_3 = 0,37$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	5,107	-14,6	1,222	0,027	1,660
-2,325	10,350	4,220	-6,5	1,132	0,068	1,583
-1,920	11,160	3,441	1,6	1,063	0,108	1,505
-1,515	11,970	2,769	9,7	1,017	0,149	1,428
-1,110	12,780	2,205	17,8	0,991	0,189	1,350
-,705	13,590	1,747	25,9	0,988	0,229	1,272
-,300	14,4	1,397	34	1,005	0,270	1,195
,105	15,210	1,154	42,1	1,045	0,310	1,117
,510	16,020	1,019	50,2	1,106	0,351	1,040
,915	16,830	0,991	58,3	1,188	0,391	0,962
1,320	17,640	1,070	66,4	1,292	0,432	0,885
1,725	18,450	1,257	74,5	1,417	0,472	0,807
2,103	19,260	1,551	82,6	1,564	0,513	0,730
2,535	20,070	1,952	90,7	1,733	0,553	0,652
2,940	20,880	2,460	98,8	1,923	0,594	0,574

Anhang 8 / Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Seredo Prallvermahlung

Anlage 73: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 83,42 % ($X_1 = 14,27$ $X_2 = 49,23$ $X_3 = 104,95$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	89,956	-14,6	72,163	35400	38,649
-2,325	10,350	88,839	-6,5	73,592	43500	46,424
-1,920	11,160	87,721	1,6	75,020	51600	53,525
-1,515	11,970	86,604	9,7	76,449	59700	59,950
-1,110	12,780	85,487	17,8	77,877	67800	65,699
-,705	13,590	84,370	25,9	79,306	75900	70,774
-,300	14,4	83,253	34	80,735	84000	75,173
,105	15,210	82,135	42,1	82,163	92100	78,897
,510	16,020	81,018	50,2	83,592	100200	81,945
,915	16,830	79,901	58,3	85,020	108300	84,319
1,320	17,640	78,784	66,4	86,449	116400	86,017
1,725	18,450	77,667	74,5	87,877	124500	87,039
2,103	19,260	76,550	82,6	89,306	132600	87,387
2,535	20,070	75,432	90,7	90,734	140700	87,059
2,940	20,880	74,315	98,8	92,163	148800	86,056

Anlage 74: Veränderung der Ausbeute durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 63,90 % ($X_1 = 15,76$ $X_2 = 40,42$ $X_3 = 71,96$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	81,495	-14,6	64,754	35400	32,705
-2,325	10,350	79,206	-6,5	64,628	43500	40,802
-1,920	11,160	76,917	1,6	64,502	51600	48,224
-1,515	11,970	74,628	9,7	64,377	59700	54,970
-1,110	12,780	72,339	17,8	64,251	67800	61,041
-,705	13,590	70,050	25,9	64,126	75900	66,437
-,300	14,4	67,762	34	64,000	84000	71,158
,105	15,210	65,473	42,1	63,874	92100	75,203
,510	16,020	63,184	50,2	63,749	100200	78,573
,915	16,830	60,895	58,3	63,623	108300	81,268
1,320	17,640	58,606	66,4	63,497	116400	83,287
1,725	18,450	56,317	74,5	63,372	124500	84,631
2,103	19,260	54,028	82,6	63,246	132600	85,300
2,535	20,070	51,739	90,7	63,120	140700	85,293
2,940	20,880	49,450	98,8	62,995	148800	84,612

Anhang 8 / Blatt 2

Anlage 75: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 2,13 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 35$ $X_3 = 71$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,125	-14,6	1,459	35400	1,927
-2,325	10,350	2,125	-6,5	1,659	43500	2,017
-1,920	11,160	2,125	1,6	1,823	51600	2,081
-1,515	11,970	2,125	9,7	1,952	59700	2,118
-1,110	12,780	2,125	17,8	2,045	67800	2,129
-,705	13,590	2,125	25,9	2,103	75900	2,112
-,300	14,4	2,125	34	2,125	84000	2,069
,105	15,210	2,125	42,1	2,112	92100	2,000
,510	16,020	2,125	50,2	2,063	100200	1,904
,915	16,830	2,125	58,3	1,978	108,300	1,781
1,320	17,640	2,125	66,4	1,859	116,400	1,631
1,725	18,450	2,125	74,5	1,703	124,500	1,455
2,103	19,260	2,125	82,6	1,512	132,600	1,252
2,535	20,070	2,125	90,7	1,286	140,700	1,022
2,940	20,880	2,125	98,8	1,023	148,800	0,766

Anlage 76: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,67 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 25,61$ $X_3 = 104$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	1,672	-14,6	0,401	35400	2,075
-2,325	10,350	1,672	-6,5	0,728	43500	2,126
-1,920	11,160	1,672	1,6	1,018	51600	2,151
-1,515	11,970	1,672	9,7	1,274	59700	2,149
-1,110	12,780	1,672	17,8	1,493	67800	2,120
-,705	13,590	1,672	25,9	1,678	75900	2,065
-,300	14,4	1,672	34	1,826	84000	1,983
,105	15,210	1,672	42,1	1,939	92100	1,875
,510	16,020	1,672	50,2	2,017	100200	1,739
,915	16,830	1,672	58,3	2,059	108,300	1,577
1,320	17,640	1,672	66,4	2,065	116,400	1,389
1,725	18,450	1,672	74,5	2,036	124,500	1,174
2,103	19,260	1,672	82,6	1,972	132,600	0,932
2,535	20,070	1,672	90,7	1,872	140,700	0,662
2,940	20,880	1,672	98,8	1,736	148,800	0,368

Anhang 8 / Blatt 3

Anlage 77: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 3,15 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 40$ $X_3 = 70$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	3,150	-14,6	2,202	35400	4,325
-2,325	10,350	3,150	-6,5	2,462	43500	3,964
-1,920	11,160	3,150	1,6	2,681	51600	3,656
-1,515	11,970	3,150	9,7	2,858	59700	3,400
-1,110	12,780	3,150	17,8	2,993	67800	3,198
-,705	13,590	3,150	25,9	3,087	75900	3,048
-,300	14,4	3,150	34	3,138	84000	2,952
,105	15,210	3,150	42,1	3,148	92100	2,908
,510	16,020	3,150	50,2	3,117	100200	2,917
,915	16,830	3,150	58,3	3,043	108,300	2,979
1,320	17,640	3,150	66,4	2,928	116,400	3,094
1,725	18,450	3,150	74,5	2,771	124,500	3,262
2,103	19,260	3,150	82,6	2,573	132,600	3,483
2,535	20,070	3,150	90,7	2,332	140,700	3,756
2,940	20,880	3,150	98,8	2,050	148,800	4,083

Anlage 78: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 2,90 % ($X_1 = 15$ $X_2 = 40$ $X_3 = 92,5$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	2,907	-14,6	1,959	35400	4,325
-2,325	10,350	2,907	-6,5	2,219	43500	3,964
-1,920	11,160	2,907	1,6	2,438	51600	3,656
-1,515	11,970	2,907	9,7	2,615	59700	3,400
-1,110	12,780	2,907	17,8	2,750	67800	3,198
-,705	13,590	2,907	25,9	2,844	75900	3,048
-,300	14,4	2,907	34	2,896	84000	2,952
,105	15,210	2,907	42,1	2,906	92100	2,908
,510	16,020	2,907	50,2	2,874	100200	2,917
,915	16,830	2,907	58,3	2,800	108,300	2,979
1,320	17,640	2,907	66,4	2,685	116,400	3,094
1,725	18,450	2,907	74,5	2,528	124,500	3,262
2,103	19,260	2,907	82,6	2,330	132,600	3,483
2,535	20,070	2,907	90,7	2,089	140,700	3,756
2,940	20,880	2,907	98,8	1,807	148,800	4,083

Anhang 8 / Blatt 4

Anlage 79: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 16,04 % ($X_1 = 16,74$ $X_2 = 42,8$ $X_3 = 97,6$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	15519	-14,6	15,973	35400	10,084
-2,325	10,350	15577	-6,5	15,982	43500	11,511
-1,920	11,160	15636	1,6	15,992	51600	12,743
-1,515	11,970	15695	9,7	16,001	59700	13,780
-1,110	12,780	15753	17,8	16,011	67800	14,622
-,705	13,590	15812	25,9	16,020	75900	15,268
-,300	14,4	15871	34	16,030	84000	15,720
,105	15,210	15929	42,1	16,039	92100	15,977
,510	16,020	15988	50,2	16,049	100200	16,039
,915	16,830	16047	58,3	16,058	108,300	15,905
1,320	17,640	16105	66,4	16,068	116,400	15,577
1,725	18,450	16164	74,5	16,077	124,500	15,054
2,103	19,260	16223	82,6	16,087	132,600	14,335
2,535	20,070	16281	90,7	16,096	140,700	13,422
2,940	20,880	16340	98,8	16,106	148,800	12,313

Anlage 80: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 14,93 % ($X_1 = 15,06$ $X_2 = 40,75$ $X_3 = 70,85$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	15,090	-14,6	15,102	35400	10,367
-2,325	10,350	15,068	-6,5	15,078	43500	11,741
-1,920	11,160	15,046	1,6	15,055	51600	12,920
-1,515	11,970	15,024	9,7	15,031	59700	13,904
-1,110	12,780	15,002	17,8	15,007	67800	14,693
-,705	13,590	14,980	25,9	14,983	75900	15,287
-,300	14,4	14,958	34	14,960	84000	15,686
,105	15,210	14,936	42,1	14,936	92100	15,890
,510	16,020	14,914	50,2	14,912	100200	15,898
,915	16,830	14,892	58,3	14,888	108,300	15,712
1,320	17,640	14,870	66,4	14,865	116,400	15,331
1,725	18,450	14,848	74,5	14,841	124,500	14,755
2,103	19,260	14,826	82,6	14,817	132,600	13,983
2,535	20,070	14,804	90,7	14,793	140,700	13,017
2,940	20,880	14,782	98,8	14,770	148,800	11,856

Anlage 81: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 70 % ($X_1 = 16,78$ $X_2 = 38,54$ $X_3 = 84$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	73,828	-14,6	70,806	35400	73,021
-2,325	10,350	71,687	-6,5	70,683	43500	72,518
-1,920	11,160	69,978	1,6	70,561	51600	72,015
-1,515	11,970	68,701	9,7	70,438	59700	71,512
-1,110	12,780	67,854	17,8	70,316	67800	71,009
-,705	13,590	67,439	25,9	70,193	75900	70,506
-,300	14,4	67,455	34	70,071	84000	70,004
,105	15,210	67,903	42,1	69,948	92100	69,501
,510	16,020	68,782	50,2	69,825	100200	68,998
,915	16,830	70,093	58,3	69,703	108,300	68,495
1,320	17,640	71,835	66,4	69,580	116,400	67,992
1,725	18,450	74,008	74,5	69,458	124,500	67,489
2,103	19,260	76,613	82,6	69,335	132,600	66,986
2,535	20,070	79,649	90,7	69,213	140,700	66,483
2,940	20,880	83,116	98,8	69,090	148,800	65,980

Anlage 82: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 65,76 % ($X_1 = 14,40$ $X_2 = 31,38$ $X_3 = 106,5$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	72,132	-14,6	63,839	35400	71,467
-2,325	10,350	69,991	-6,5	64,174	43500	70,817
-1,920	11,160	68,282	1,6	64,513	51600	70,167
-1,515	11,970	67,004	9,7	64,852	59700	69,517
-1,110	12,780	66,158	17,8	65,192	67800	68,867
-,705	13,590	65,743	25,9	65,531	75900	68,217
-,300	14,4	65,759	34	65,870	84000	67,567
,105	15,210	66,207	42,1	66,209	92100	66,917
,510	16,020	67,086	50,2	66,548	100200	66,267
,915	16,830	68,396	58,3	66,887	108,300	65,617
1,320	17,640	70,138	66,4	67,227	116,400	64,967
1,725	18,450	72,312	74,5	67,566	124,500	64,317
2,103	19,260	74,916	82,6	67,905	132,600	63,667
2,535	20,070	77,952	90,7	68,244	140,700	63,017
2,940	20,880	81,420	98,8	68,583	148,800	62,367

Anlage 83: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 0,98 % ($X_1 = 13,14$ $X_2 = 43,25$ $X_3 = 87$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,934	-14,6	0,713	35400	0,997
-2,325	10,350	0,966	-6,5	0,779	43500	0,993
-1,920	11,160	0,985	1,6	0,835	51600	0,990
-1,515	11,970	0,991	9,7	0,882	59700	0,987
-1,110	12,780	0,984	17,8	0,920	67800	0,984
-,705	13,590	0,964	25,9	0,948	75900	0,981
-,300	14,4	0,931	34	0,967	84000	0,978
,105	15,210	0,884	42,1	0,976	92100	0,975
,510	16,020	0,824	50,2	0,976	100200	0,972
,915	16,830	0,752	58,3	0,967	108,300	0,969
1,320	17,640	0,666	66,4	0,948	116,400	0,965
1,725	18,450	0,567	74,5	0,921	124,500	0,962
2,103	19,260	0,454	82,6	0,883	132,600	0,959
2,535	20,070	0,329	90,7	0,837	140,700	0,956
2,940	20,880	0,191	98,8	0,781	148,800	0,953

Anlage 84: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 0,75 % ($X_1 = 16,7$ $X_2 = 41,9$ $X_3 = 83,15$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	9,540	0,950	-14,6	0,582	35400	0,558
-2,325	10,350	0,979	-6,5	0,633	43500	0,590
-1,920	11,160	0,994	1,6	0,676	51600	0,622
-1,515	11,970	0,997	9,7	0,708	59700	0,654
-1,110	12,780	0,987	17,8	0,732	67800	0,686
-,705	13,590	0,963	25,9	0,746	75900	0,718
-,300	14,4	0,926	34	0,751	84000	0,750
,105	15,210	0,876	42,1	0,747	92100	0,782
,510	16,020	0,813	50,2	0,733	100200	0,814
,915	16,830	0,737	58,3	0,709	108,300	0,846
1,320	17,640	0,648	66,4	0,677	116,400	0,878
1,725	18,450	0,546	74,5	0,635	124,500	0,910
2,103	19,260	0,430	82,6	0,584	132,600	0,942
2,535	20,070	0,302	90,7	0,523	140,700	0,974
2,940	20,880	0,160	98,8	0,453	148,800	1,006

Anhang 9 / Blatt 1

Inhaltsstoffliche Veränderungen durch Variation des Parameters der Sorte Seredo Schälen

Anlage 85: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 27,27 % ($X_1 = 13,47$ $X_2 = 3,42$ $X_3 = 74,02$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	31,611	-3,325	20,973	19,050	4,414
-2,325	9,350	30,898	-2,313	22,479	25,125	6,940
-1,920	10,160	30,186	-1,300	23,783	31,200	9,467
-1,515	10,970	29,474	-0,288	24,887	37,275	11,993
-1,110	11,780	28,762	0,725	25,789	43,350	14,519
-,705	12,590	28,050	1,737	26,489	49,425	17,046
-,300	13,4	27,338	2,750	26,989	55,500	19,572
,105	14,210	26,626	3,762	27,287	61,575	22,098
,510	15,020	25,914	4,775	27,384	67,650	24,624
,915	15,830	25,202	5,787	27,280	73,725	27,151
1,320	16,640	24,489	6,800	26,974	79,800	29,677
1,725	17,450	23,777	7,812	26,468	85,875	32,203
2,103	18,260	23,065	8,825	25,760	91,950	34,730
2,535	19,070	22,353	9,837	24,850	98,025	37,256
2,940	19,880	21,641	10,850	23,740	104,100	39,782

Anlage 86: Veränderung der Schälgrad durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 14,94 % ($X_1 = 14,53$ $X_2 = 3,24$ $X_3 = 46,67$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	20,553	-3,325	9,804	19,050	3,564
-2,325	9,350	19,796	-2,313	11,145	25,125	6,067
-1,920	10,160	19,038	-1,300	12,285	31,200	8,569
-1,515	10,970	18,280	-0,288	13,224	37,275	11,072
-1,110	11,780	17,522	0,725	13,961	43,350	13,575
-,705	12,590	16,764	1,737	14,497	49,425	16,077
-,300	13,4	16,007	2,750	14,832	55,500	18,580
,105	14,210	15,249	3,762	14,966	61,575	21,082
,510	15,020	14,491	4,775	14,898	67,650	23,585
,915	15,830	13,733	5,787	14,629	73,725	26,088
1,320	16,640	12,976	6,800	14,159	79,800	28,590
1,725	17,450	12,218	7,812	13,487	85,875	31,093
2,103	18,260	11,460	8,825	12,615	91,950	33,595
2,535	19,070	10,702	9,837	11,541	98,025	36,098
2,940	19,880	9,944	10,850	10,265	104,100	38,601

Anhang 9 / Blatt 2

Anlage 87: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 1,75 % ($X_1 = 14,62$ $X_2 = 3,20$ $X_3 = 46,08$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	0,856	-3,325	1,785	19,050	2,238
-2,325	9,350	1,057	-2,313	1,780	25,125	2,101
-1,920	10,160	1,232	-1,300	1,775	31,200	1,980
-1,515	10,970	1,382	-0,288	1,769	37,275	1,875
-1,110	11,780	1,508	0,725	1,764	43,350	1,786
-,705	12,590	1,608	1,737	1,759	49,425	1,712
-,300	13,4	1,684	2,750	1,754	55,500	1,655
,105	14,210	1,734	3,762	1,749	61,575	1,613
,510	15,020	1,760	4,775	1,744	67,650	1,588
,915	15,830	1,761	5,787	1,738	73,725	1,578
1,320	16,640	1,736	6,800	1,733	79,800	1,584
1,725	17,450	1,687	7,812	1,728	85,875	1,606
2,103	18,260	1,613	8,825	1,723	91,950	1,644
2,535	19,070	1,514	9,837	1,718	98,025	1,698
2,940	19,880	1,390	10,850	1,713	104,100	1,767

Anlage 88: Veränderung der Mineralstoffgehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,43 % ($X_1 = 12,09$ $X_2 = 3,6$ $X_3 = 62,77$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	0,783	-3,325	1,337	19,050	1,979
-2,325	9,350	0,974	-2,313	1,352	25,125	1,854
-1,920	10,160	1,140	-1,300	1,368	31,200	1,746
-1,515	10,970	1,281	-0,288	1,384	37,275	1,653
-1,110	11,780	1,398	0,725	1,399	43,350	1,576
-,705	12,590	1,489	1,737	1,415	49,425	1,515
-,300	13,4	1,555	2,750	1,431	55,500	1,469
,105	14,210	1,597	3,762	1,446	61,575	1,440
,510	15,020	1,613	4,775	1,462	67,650	1,426
,915	15,830	1,605	5,787	1,477	73,725	1,429
1,320	16,640	1,571	6,800	1,493	79,800	1,447
1,725	17,450	1,513	7,812	1,509	85,875	1,481
2,103	18,260	1,429	8,825	1,524	91,950	1,531
2,535	19,070	1,321	9,837	1,540	98,025	1,597
2,940	19,880	1,188	10,850	1,556	104,100	1,697

Anhang 9 / Blatt 3

Anlage 89: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Maximum 2,92 % ($X_1 = 14,58$ $X_2 = 3,22$ $X_3 = 46,35$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,933	-3,325	2,970	19,050	3,546
-2,325	9,350	2,148	-2,313	2,963	25,125	3,392
-1,920	10,160	2,338	-1,300	2,956	31,200	3,247
-1,515	10,970	2,502	-0,288	2,949	37,275	3,111
-1,110	11,780	2,641	0,725	2,942	43,350	2,983
-,705	12,590	2,754	1,737	2,935	49,425	2,865
-,300	13,4	2,842	2,750	2,928	55,500	2,756
,105	14,210	2,904	3,762	2,921	61,575	2,656
,510	15,020	2,941	4,775	2,914	67,650	2,565
,915	15,830	2,952	5,787	2,907	73,725	2,482
1,320	16,640	2,938	6,800	2,900	79,800	2,409
1,725	17,450	2,898	7,812	2,894	85,875	2,345
2,103	18,260	2,833	8,825	2,887	91,950	2,289
2,535	19,070	2,742	9,837	2,880	98,025	2,243
2,940	19,880	2,626	10,850	2,873	104,100	2,205

Anlage 90: Veränderung der Fettgehalt durch Variation der Einflussparametern
am Minimum 2,28 % ($X_1 = 12,50$ $X_2 = 3,13$ $X_3 = 68,84$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	1,318	-3,325	2,169	19,050	3,460
-2,325	9,350	1,565	-2,313	2,187	25,125	3,284
-1,920	10,160	1,787	-1,300	2,205	31,200	3,117
-1,515	10,970	1,983	-0,288	2,223	37,275	2,960
-1,110	11,780	2,154	0,725	2,240	43,350	2,811
-,705	12,590	2,300	1,737	2,258	49,425	2,671
-,300	13,4	2,419	2,750	2,276	55,500	2,541
,105	14,210	2,514	3,762	2,294	61,575	2,419
,510	15,020	2,583	4,775	2,312	67,650	2,306
,915	15,830	2,626	5,787	2,330	73,725	2,202
1,320	16,640	2,644	6,800	2,347	79,800	2,107
1,725	17,450	2,637	7,812	2,365	85,875	2,021
2,103	18,260	2,604	8,825	2,385	91,950	1,944
2,535	19,070	2,545	9,837	2,401	98,025	1,876
2,940	19,880	2,461	10,850	2,419	104,100	1,817

Anhang 9 / Blatt 4

Anlage 91: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 11,90 % ($X_1 = 14,22$ $X_2 = 4,24$ $X_3 = 73,30$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	8,854	-3,325	11,386	19,050	12,061
-2,325	9,350	9,640	-2,313	11,453	25,125	11,877
-1,920	10,160	10,309	-1,300	11,520	31,200	11,734
-1,515	10,970	10,861	-0,288	11,587	37,275	11,634
-1,110	11,780	11,296	0,725	11,654	43,350	11,575
-,705	12,590	11,613	1,737	11,721	49,425	11,558
-,300	13,4	11,813	2,750	11,788	55,500	11,583
,105	14,210	11,896	3,762	11,855	61,575	11,649
,510	15,020	11,861	4,775	11,922	67,650	11,758
,915	15,830	11,709	5,787	11,989	73,725	11,908
1,320	16,640	11,439	6,800	12,056	79,800	12,099
1,725	17,450	11,052	7,812	12,123	85,875	12,333
2,103	18,260	10,548	8,825	12,190	91,950	12,608
2,535	19,070	9,927	9,837	12,257	98,025	12,925
2,940	19,880	9,188	10,850	12,323	104,100	13,284

Anlage 92: Veränderung der Proteingehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 1,43 % ($X_1 = 12,09$ $X_2 = 3,6$ $X_3 = 62,77$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	8,205	-3,325	10,271	19,050	11,447
-2,325	9,350	9,027	-2,313	10,391	25,125	11,263
-1,920	10,160	9,731	-1,300	10,511	31,200	11,121
-1,515	10,970	10,318	-0,288	10,631	37,275	11,020
-1,110	11,780	10,787	0,725	10,751	43,350	10,962
-,705	12,590	11,139	1,737	10,871	49,425	10,945
-,300	13,4	11,374	2,750	10,991	55,500	10,969
,105	14,210	11,491	3,762	11,111	61,575	11,036
,510	15,020	11,491	4,775	11,231	67,650	11,144
,915	15,830	11,374	5,787	11,351	73,725	11,294
1,320	16,640	11,139	6,800	11,471	79,800	11,486
1,725	17,450	10,787	7,812	11,591	85,875	11,719
2,103	18,260	10,318	8,825	11,711	91,950	11,995
2,535	19,070	9,731	9,837	11,831	98,025	12,312
2,940	19,880	9,027	10,850	11,951	104,100	12,671

Anlage 93: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum 83,22 % ($X_1 = 12,25$ $X_2 = 2,54$ $X_3 = 65,24$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	99,078	-3,325	86,840	19,050	76,767
-2,325	9,350	94,573	-2,313	86,251	25,125	77,616
-1,920	10,160	90,652	-1,300	85,661	31,200	78,465
-1,515	10,970	87,315	-0,288	85,072	37,275	79,313
-1,110	11,780	84,561	0,725	84,483	43,350	80,162
-,705	12,590	82,391	1,737	83,893	49,425	81,011
-,300	13,4	80,805	2,750	83,304	55,500	81,859
,105	14,210	79,803	3,762	82,714	61,575	82,708
,510	15,020	79,385	4,775	82,125	67,650	83,557
,915	15,830	79,550	5,787	81,536	73,725	84,406
1,320	16,640	80,299	6,800	80,946	79,800	85,254
1,725	17,450	81,632	7,812	80,357	85,875	86,103
2,103	18,260	83,548	8,825	79,768	91,950	86,952
2,535	19,070	86,049	9,837	79,178	98,025	87,800
2,940	19,880	89,133	10,850	78,589	104,100	88,649

Anlage 94: Veränderung der Stärkegehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum 77,45 % ($X_1 = 14,15$ $X_2 = 4,12$ $X_3 = 45,85$)

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	91,983	-3,325	79,220	19,050	73,832
-2,325	9,350	88,155	-2,313	78,982	25,125	74,653
-1,920	10,160	84,912	-1,300	78,744	31,200	75,474
-1,515	10,970	82,252	-0,288	78,505	37,275	76,294
-1,110	11,780	80,176	0,725	78,267	43,350	77,115
-,705	12,590	76,683	1,737	78,029	49,425	77,936
-,300	13,4	77,775	2,750	77,791	55,500	78,757
,105	14,210	77,450	3,762	77,552	61,575	79,578
,510	15,020	77,709	4,775	77,314	67,650	80,398
,915	15,830	78,552	5,787	77,076	73,725	81,219
1,320	16,640	79,978	6,800	76,838	79,800	82,040
1,725	17,450	81,988	7,812	76,599	85,875	82,861
2,103	18,260	84,582	8,825	76,361	91,950	83,682
2,535	19,070	87,760	9,837	76,123	98,025	84,502
2,940	19,880	91,522	10,850	75,885	104,100	85,323

Anlage 95: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Maximum

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	-,062	-3,325	0,310	19,050	0,480
-2,325	9,350	0,178	-2,313	0,458	25,125	0,605
-1,920	10,160	0,383	-1,300	0,583	31,200	0,707
-1,515	10,970	0,552	-0,288	0,686	37,275	0,783
-1,110	11,780	0,685	0,725	0,766	43,350	0,836
-,705	12,590	0,782	1,737	0,823	49,425	0,864
-,300	13,4	0,843	2,750	0,857	55,500	0,867
,105	14,210	0,868	3,762	0,869	61,575	0,846
,510	15,020	0,857	4,775	0,857	67,650	0,801
,915	15,830	0,811	5,787	0,823	73,725	0,731
1,320	16,640	0,728	6,800	0,767	79,800	0,637
1,725	17,450	0,610	7,812	0,687	85,875	0,519
2,103	18,260	0,456	8,825	0,585	91,950	0,376
2,535	19,070	0,266	9,837	0,460	98,025	0,209
2,940	19,880	0,040	10,850	0,312	104,100	0,017

Anlage 96: Veränderung der Tanningehalt durch Variation der Einflussparametern am Minimum

XNOR	X1	Y(X1)	X2	Y(X2)	X3	Y(X3)
-2,730	8,540	-0,138	-3,325	0,132	19,050	0,371
-2,325	9,350	0,103	-2,313	0,281	25,125	0,497
-1,920	10,160	0,307	-1,300	0,406	31,200	0,598
-1,515	10,970	0,476	-0,288	0,508	37,275	0,675
-1,110	11,780	0,609	0,725	0,588	43,350	0,727
-,705	12,590	0,706	1,737	0,645	49,425	0,755
-,300	13,4	0,767	2,750	0,680	55,500	0,759
,105	14,210	0,792	3,762	0,691	61,575	0,738
,510	15,020	0,782	4,775	0,680	67,650	0,692
,915	15,830	0,735	5,787	0,646	73,725	0,623
1,320	16,640	0,653	6,800	0,589	79,800	0,529
1,725	17,450	0,534	7,812	0,510	85,875	0,410
2,103	18,260	0,380	8,825	0,408	91,950	0,267
2,535	19,070	0,190	9,837	0,283	98,025	0,100
2,940	19,880	-,036	10,850	0,135	104,100	-,091